

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



Biomasa y secuestro de carbono radicular, en bosque natural de “algarrobo” en  
campus de Universidad de Piura (UDEP)

**Br. Duber Orlando Chinguel Laban.**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**BIÓLOGO**

**PIURA – PERÚ**  
**2013**



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE CIENCIAS



### ACTA DE SUSTENTACION N° 034-2013-FC-UNP

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada " **BIOMASA Y SECUESTRO DE CARBONO RADICULAR, EN BOSQUE NATURAL DE " ALGARROBO " EN CAMPUS DE UNIVERSIDAD DE PIURA (UDEP) "**, presentado por el señor Bachiller **DUBER ORLANDO CHINGUEL LABÁN**, oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

**APROBADO (X)**

**DESAPROBADO ( )**

Con la mención de :

*Bachiller*

( ) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TITULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO**. .....

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TITULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO**; después que la sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 09 de julio de 2013.

*[Signature]*  
**Blg° RONALD WILMER MARCIAL RAMOS, M. Sc.**  
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

*[Signature]*  
**BLG° HUMBERTO RIVERA CALLE**  
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS

*[Signature]*  
**Blg° WILDER RODRÍGUEZ ARTEAGA, M. Sc.**  
VOCAL DE JURADO DE TESIS

Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla  
TELF.: (073) 340839 – 343181 anexo 259 Fax (51)(73) 343181 – 342855  
PIURA – PERÚ

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos.....	8
Lista de cuadros.....	9
Lista de figuras.....	12
Resumen .....	14
Abstract.....	15
I.    Introducción.....	16
II.   Material y Métodos.....	19
1.1. Ubicación del área de estudio.....	19
1.2. Descripción del área de estudio.....	20
2.2.1 Suelo.....	20
2.2.2 Clima.....	20
2.2.3 Clasificación ecológica.....	22
2.3 Diseño del muestreo.....	22
2.3.1 Tamaño, forma, ubicación y numero de las parcelas.....	22
2.3.1.1 Tamaño y forma de la parcela.....	22
2.3.1.2 Selección de los sitios específicos para cada parcela.....	23
2.3.1.3 Número de parcelas.....	23
2.4 Cálculos de biomasa y carbono radicular.....	24
2.4.1 Biomasa radicular y secuestro de carbono.....	24

2.5	Determinación de la ecuación alométrica.....	25
2.5.1	Ubicación y toma de datos de árboles para su posterior tala y remoción.....	25
2.5.2	Selección de los árboles y tocones muestra.....	25
2.5.3	Tala de los árboles seleccionados.....	26
2.5.4	Identificación del área de remoción del suelo.....	26
2.5.5	Ejecución de la excavación inicial.....	27
2.5.6	Exposición de las raíces gruesas.....	27
2.5.7	Limpiado de raíz.....	28
2.5.8	Medición y pesado de raíces.....	28
2.5.9	Determinación de Peso seco.....	30
2.5.10	Transporte de muestras.....	30
2.5.11	Trabajo de laboratorio.....	31
2.5.12	Trabajo de gabinete.....	32
2.5.13	Elaboración de ecuaciones alométricas de biomasa radicular.....	33
2.5.14	Selección de la mejor ecuación de biomasa radicular total.....	34
2.5.15	Estimación de la biomasa radicular total de todos los arboles.....	34
2.5.16	Carbono total secuestrado en raíces, en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura.....	35
2.5.17	Cantidad de dióxido de carbono equivalente.....	35
III.	Resultados.....	36
3.1	Ubicación de las parcelas.....	36
3.1.1	Trabajo de campo.....	36
3.1.2	Toma de datos en campo.....	37

3.1.2.1. Pesos húmedos totales de cada sección diamétrica.....	38
3.1.2.2. Relación entre los pesos húmedos de secciones diamétricas de 0.5- 2 y 2-5cm....	39
3.1.2.3. Relación entre los pesos húmedos de secciones diamétricas de 0.5- 2 y 5-10cm.....	41
3.1.2.4. Relación entre los pesos húmedos de secciones diamétricas de 0.5- 2 y >10cm.....	43
3.1.3 Trabajo de gabinete.....	45
3.1.3.1 Obtención de los pesos secos constantes y porcentaje del contenido de humedad.....	45
3.1.3.2 Obtención del peso seco total de cada sección diamétrica de la raíz.....	47
3.1.3.3 Variables utilizadas en la formulación de las ecuaciones alométricas.....	49
3.1.3.4 Elaboración de las ecuaciones para estimar la biomasa de cada sección diamétrica de la raíz de <i>Prosopis pallida</i> “algarrobo”.....	51
3.1.3.4.1 Análisis de las ecuaciones en función al coeficiente de determinación “R <sup>2</sup> ” y coeficiente de correlación de Pearson “r”.....	51
3.1.3.4.2 Selección de la Ecuación final para cada sección diamétrica de la raíz de <i>Prosopis pallida</i> “algarrobo”.....	51
3.1.3.4.3 Aplicación de las ecuaciones para estimar la biomasa radicular de <i>Prosopis pallida</i> “algarrobo”.....	59
3.1.3.4.4 Biomasa total radicular en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura.....	60
3.1.3.4.5 Cantidad de carbono secuestrado en cada sección de la raíz de <i>Prosopis pallida</i> “algarrobo”.....	60
3.1.3.4.6 Cantidad de carbono total secuestrado radicular en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura.....	61

3.1.3.4.7 Cantidad total de dióxido de carbono equivalente (CO <sub>2</sub> ) en el bosque natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura.....	62
3.1.3.4.8 Relación carbono radicular con la biomasa total y el carbono del árbol Prosopis pallida .....	63
IV. Discusión.....	64
V. Conclusiones.....	68
VI. Recomendaciones.....	69
VII. Referencias Bibliográficas.....	70
VIII. Anexos.....	77

## **DEDICATORIA**

A mi Dios, quien gracias a él, me permite cada día ser mejor persona, y que me regala muchas cosas buenas y hermosas, razones suficientes para seguir adelante.

A mis padres Orlando Chinguel Bruno y Segundina Laban Huamán que con su esfuerzo y dedicación me enseñan que para lograr objetivos, es necesario esfuerzo y sacrificio.

A mis hermanos, María del Rosario Chinguel Laban y Demetrio Orlando Chinguel Laban, gracias por el apoyo en cada momento de mi vida y mi ángel protector Gisella Chinguel Laban, quien siempre me protege.

A mis tíos Lino Chinguel Bruno y Rafael Chinguel Bruno, ejemplos de humildad y de perseverancia, a quienes estimo mucho.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Piura (UDEP) por el apoyo a través de su proyecto “Campus verde” y dentro del mismo, a Nora Grados y Doris Peña Barreto, por su colaboración durante la evaluación del Proyecto.

A la Universidad Nacional de Piura, la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, que me dio la oportunidad de formarme académicamente en este campo que me apasiona y profesores a quienes tengo mucha consideración y respeto.

A mis amigos y compañeros quienes me brindaron y me brindan su ayuda, en todo momento, Dany Chunga Benavides, Odar Huaches Velásquez, Jimmy Robledo Valencia, Errol Aponte Calle y especialmente a Oscar Rodríguez por su apoyo en los muestreos.

A mis compañeras de evaluación, Tania Cruz, Evelyn Ortiz, en especial a Leyli Laban por el apoyo brindado en todo el proyecto.

Al profesor José Fiestas, por su apoyo en la parte estadística.

Finalmente, pero no menos importante a cada uno de mi amigos y conocidos, quienes siempre me brindaron su apoyo, preguntando por el comienzo y culminación de este proyecto.



## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Resumen de datos climáticos, promedios mensuales.

Cuadro 2. Distribución de árboles por clases diamétricas en cada parcela.

Cuadro 3. Radios de acción según DAP y según influencia de raíces.

Cuadro 5 Resumen de los pesos húmedos de las secciones diamétricas.

Cuadro 4. Datos dasométricos de los 25 árboles seleccionados.

Cuadro 6. Peso húmedo total de diámetros de raíces de 0,5-2 y 2-5.

Cuadro 7. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2,0 y 5-10.

Cuadro 8. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2,0 y >10.

Cuadro 9. Resumen de los pesos secos constantes de los componentes de los 25 árboles seleccionados.

Cuadro 10. Contenido de humedad (CH) hallado en cada uno de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 11. Peso seco total de cada sección diamétrica de la raíz de los 25 árboles seleccionados.

Cuadro 12. Variables dependientes e independiente utilizadas en la elaboración de ecuaciones alométricas

Cuadro 13. Ecuación final para estimar biomasa de 0,5 a 2cm.

Cuadro 14. Ecuación final para estimar biomasa de 2- 5cm.

Cuadro 15. Ecuación final para estimar biomasa de 5-10cm.

Cuadro 16. Ecuación final para estimar biomasa >10cm.

Cuadro 17. Ecuación final para estimar biomasa de la raíz.

Cuadro 18. Comparación entre el peso seco total o biomasa radicular total y la biomasa radicular total estimada.

Cuadro 19. Estimación de biomasa radicular de *Prosopis pallida* “algarrobo”.

Cuadro 20. Cantidad de biomasa radicular por el bosque natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura.

Cuadro 21. Estimación del carbono secuestrado por cada sección diamétrica de la raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo” de los 359 árboles.

Cuadro 22. Cantidad de carbono secuestrado radicular por el bosque natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura.

Cuadro 23. Cantidad total de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) en el bosque natural de algarrobo UDEP.

Cuadro 24. Porcentaje de carbono radicular con respecto al carbono total, en el bosque natural de algarrobo UDEP.

Cuadro 25. Clases diamétricas (DAP) y altura (H) de individuos de *Prosopis pallida* en las parcelas de evaluación en el campus de la UDEP.

Cuadro 26. Datos dasométricos de los individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 01 en Campus de la UDEP.

Cuadro 27. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 02 del Campus de la UDEP.

Cuadro 28. Datos biométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 03 en Campus de la UDEP.

Cuadro 29. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 04 en Campus de la UDEP.

Cuadro 30. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 05 en Campus de la UDEP.

Cuadro 31. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 06 en Campus de la UDEP.

Cuadro 32. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de 0,5 a 2cm de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 33. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de 2-5cm de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 34. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de 5-10 cm de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 35. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de >10 cm de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 36. Peso seco de las rodajas de las raíces de 0,5-2 cm de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 37. Peso seco de las rodajas de las raíces de 2-5 cm de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 38. Peso seco de las rodajas de las raíces de 5-10 cm de los 25 árboles seleccionados

Cuadro 39. Peso seco de las rodajas de las raíces de >10 cm de los 25 árboles seleccionados

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Área de estudio

Fig. 2. Temperaturas Máximas y mínimas durante la extracción de raíces.

Fig. 3. Datos Meteorológicos durante la extracción de raíces

Fig. 4. Forma cuadrada de la Parcela

Fig. 5. Zona de radio de acción

Fig. 6. zona de remoción de raíces

Fig. 7. Identificación de los diámetros en una raíz de “algarrobo”

Fig. 8. Raíces trozadas por diferentes diámetros

Fig. 9. Rodaja de raíz, rotulado y pesado

Fig. 10. Estufa con ventilación forzada

Fig. 11 Diagrama de flujo en laboratorio

Fig. 12. Procedimientos para el desarrollo de las ecuaciones alométricas

Fig. 13. Ubicación de las parcelas distribuidas en el bosque de algarrobo del campus de la Universidad de Piura

Fig. 14. Distribución de los pesos húmedos totales según cada sección diamétricas de la raíz

Fig. 15. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5 – 2 cm y peso húmedo total de 2-5cm

Fig. 16. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2 y peso húmedo total de 5-10cm

Fig. 17. Relación entre peso Húmedo total de raíces de 0,5-2 y peso Húmedo total >10

Fig. 18. Grafico de la Ecuación de Biomasa de la sección diamétrica de 0,5 – 2 cm.

Fig. 19. Grafico de la Ecuación de Biomasa de la sección diamétrica de 2 – 5cm

Fig. 20. Grafico de la Ecuación de Biomasa de la sección diamétrica de 5 – 10cm.

Fig. 21. Grafico de la Ecuación de Biomasa de la sección diamétrica >10cm.

Fig. 22. Grafico de la Ecuación de biomasa de la raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo”

Fig. 23. Relación entre la biomasa radicular total, la biomasa estimada y el DAP.

Fig. 24. Relación entre las raíces y la profundidad.

Fig. 25. Distribución de la biomasa radicular estimada en los 359 arboles

Fig. 26. Distribución de la cantidad de carbono por sección diamétrica de la raíz

Fig. 27. Número de individuos de *Prosopis pallida* en las diferentes clases diamétricas

Fig. 28. Arboles seleccionados para la tumba

Fig. 29. Corte de árboles, para quedar solo en tocón radicular

Fig. 30. Tocón de árbol seleccionado

Fig. 31. Extracción de la raíz

Fig. 32. Excavación en la zona de trabajo mediante procesos manuales

Fig. 33. Seguimiento de la raíz principal

Fig. 34. Limpieza y separación de las raíces

Fig. 35. Toma de datos de longitud de las raíces

Fig. 36. Seguimiento de las raíces, superficiales y no superficiales

Fig. 37. Seguimiento de las raíces de larga longitud

Fig. 38. Exposición de las raíces por diámetros

Fig. 39. Pesado de las muestras en campo

Fig. 40. Pesado en laboratorio de las rodajas según el diámetro

Fig. 41. Colocación de las muestras (rodajas) en la estufa

## RESUMEN

El presente trabajo biomasa y secuestro de carbono radicular de *Prosopis pallida* “algarrobo” en el bosque natural del campus de la Universidad de Piura, tiene como objetivo estimar la biomasa y el carbono radicular secuestrado a través de estimaciones directas e indirectas.

Para esto se aplicó el método directo, el cual consistió en la extracción de la raíz, luego el pesado de las muestras de cada componente o secciones diamétrica establecidas en el muestreo y de manera indirecta se usaron ecuaciones alométricas.

Se seleccionaron 25 árboles previamente cortados, los cuales solo se mantenían en tocón, al extraer la raíz, se realizaron mediciones de 4 secciones diamétricas (0,5-2cm; 2-5cm; 5-10cm; y >10cm), se cortaron 3 rodajas de 5cm de espesor, a cada una de las secciones diamétricas. En campo se determinó el peso fresco, tanto de la muestra de cada sección diamétrica, como de las rodajas de las secciones diamétricas, estas muestras (rodajas) fueron llevadas al laboratorio para obtener su peso seco, y luego elaborar las ecuaciones alométricas mediante regresiones simples.

La biomasa total radicular, estimada mediante la ecuación alométrica aplicada a los 359 árboles, en las 6 parcelas de 50x50 m, arrojó un total de 3806,2 kg de biomasa.

Como el bosque natural de algarrobo de la Universidad de Piura, tiene un área de 50ha, la biomasa total radicular fue de 126,8 t/ha y el carbono radicular secuestrado total fue de 63,33 tC/ha.

Palabra clave: biomasa radicular, secuestro de carbono, ecuación alométrica.

## ABSTRACT

This work is about biomass and the absorption of radicular carbon *Prosopis pallida* "carob".

It was realized in the natural field of the University of Piura, its goal is calculate the biomass and the radicular carbon extracted through direct and indirect calculus

The direct method was applied, it consisted in the extraction of the root then the weighing of the samples of each component or diametric sections set in sampling and in an indirect way equations were used.

25 trees were selected, when the root was extracted 4 diametric sections measurements were performed. Three slices of root each one of 5 centimeter.

In the field, fresh weight was determined, both sample each diametric section and the slices were carried to the lab to get the dry weigh and then make the allometric equations.

The total root biomass calculated by the allometric equation applied to the 359 trees in the 6 plots of 50 x 50, throw a total of 3806.2 kg of biomass. As natural field of carob of the Piura University, has an area of 50ha, the total radicular biomass was 136.8 t / ha and the total carbon absorbed root was 63.33 tc / ha

Key words: radicular biomass, carbon absorption, allometric equation.

## I. INTRODUCCION

Los bosques como sistema natural complejo contribuyen a mitigar el cambio climático al almacenar carbono en la vegetación y en el suelo, e intercambiar carbono con la atmósfera a través del proceso fotosintético y la respiración, no se deja de reconocer que estos se constituyen en fuente de carbono para la atmósfera cuando sufren alteraciones provocadas por el hombre o por causas naturales, por ejemplo actividades de conversión de bosque a otros usos no forestales (Trumper *et al.*, 2008).

Actualmente, cerca de un 20% de emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera resultan de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales. La detención de la deforestación y la reversión a través de la reforestación y manejo sustentable, implica secuestrar el CO<sub>2</sub>, disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global (Schlegel, 2001).

Los proyectos de secuestro de carbono que se generan en el marco del mecanismo para un desarrollo limpio, establecido en el protocolo de Kioto, requieren de información básica sólida sobre las plantaciones forestales y su biomasa, la que debe estar fundamentada sobre evaluaciones cuantitativas confiables. Tanto las metodologías, como las propias mediciones de la biomasa forestal y los inventarios de monitoreo son la base de confianza de toda negociación de proyectos de captura de emisiones GEI (Guerra, 2001).

Así en el departamento de Piura, los bosques de algarrobo ocupan alrededor de un millón de hectáreas (Gobierno Regional, 2010). Los algarrobales ocupan las planicies costeras y las partes bajas de las estribaciones de la cordillera. La Torre-Cuadros y Linares (2008) han identificado dos



tipos de comunidades vegetales dominadas por el algarrobo: un bosque estacionalmente seco que crece por debajo de los 100m.s.n.m y un bosque estacionalmente seco de franja inferior de montaña que crece entre los 100 y 400 m.s.n.m.

Por lo tanto, la estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que esta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y representa la cantidad que puede ser liberado a la atmósfera, conservado y fijado en una determinada superficie (Brown *et al.*, 1996).

Y es a partir de la biomasa forestal que se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación (aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por carbono) y por consiguiente se pueden hacer estimaciones sobre la cantidad de dióxido de carbono que ingresa a la atmosfera cada vez que se desmonta o se quema un bosque. La biomasa es una variable que sirve también para comparar las características estructurales y funcionales de un ecosistema forestal en un amplio abanico de condiciones (FAO, 2001; Vidal *et al.*, 2003). Esta información es de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de carbono secuestrado por los bosques naturales y plantaciones, como un medio para mitigar los cambios climáticos generados por el consumo de combustibles fósiles, entre otros (Schlegel *et al.*, 2000).

Para el análisis de la biomasa radicular, actualmente existen dos métodos para cuantificar la biomasa y por ende el carbono secuestrado, así tenemos el método directo el cual es complejo y exige mucho esfuerzo de tiempo y recursos en campo (Cairns *et al.*, 1997, Clark *et al.*, 2001). Por esta razón, la información relacionada con los contenidos de carbono que se presentan en este

compartimiento y en los bosques naturales, aún se encuentra pobremente estimada (Clark *et al.*, 2001). El otro método es el indirecto, sugiere hacer estimaciones, con respecto a la biomasa aérea, Cairns *et al.* (1997), para la relación raíz/tallo (R/T), entrega valores entre el 20 y 30% de biomasa radicular con respecto a biomasa aérea.

En proyectos de secuestro de carbono en ecosistemas forestales, no realizan mediciones en comportamiento subterráneo, por la dificultad en su extracción y los altos costos que demanda, por tanto, se usan valores reportados en literatura (MacDicken, 1997, Salimon y Brown, 2000, Brown *et al.*, 1999, De Jong *et al.*, 2000). De esta manera, se opta por el método indirecto el cual se convierte en una opción para estimar los contenidos de carbono a partir de la información obtenida de la biomasa aérea, particularmente para proyectos a gran escala.

El objetivo de la investigación fue estimar la biomasa y el carbono radicular secuestrado en el bosque natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura, a través de estimaciones directas e indirectas.

## II. MATERIAL Y METODOS

### 2.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica en el campus de la Universidad de Piura, ubicado en el Distrito de Piura, Provincia y Departamento de Piura en una Latitud de  $5^{\circ}10'11''\text{S}$  y de longitud  $80^{\circ}36'51''\text{W}$ .

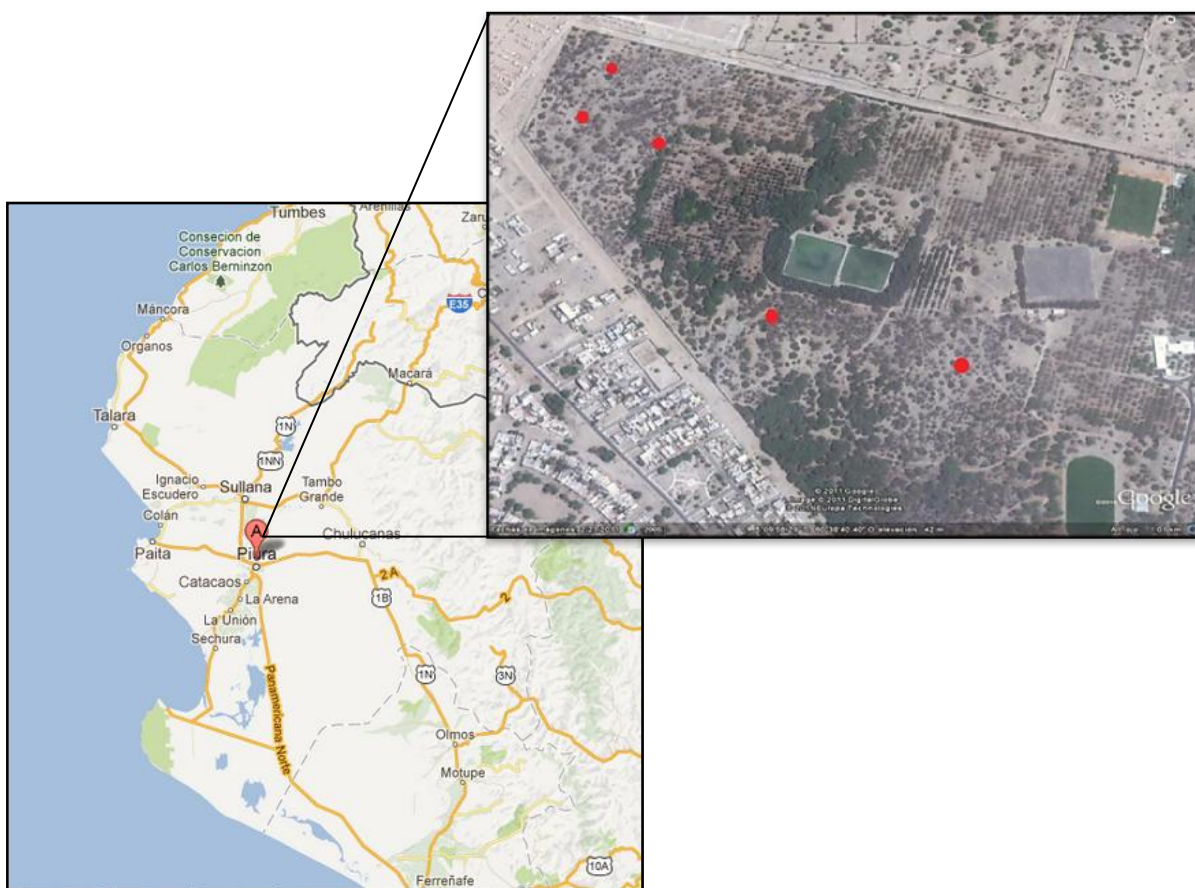


Fig. 1. Área de estudio (Google Earth, 2013)

## 2.2 Descripción del área de estudio

### 2.2.1 Suelo

La zona de estudio se encuentra conformado por material de relleno (desmonte, entre ladrillos y piedras, los primeros 30cm de profundidad), para luego estar formado por arena fina limosa suelta, arena fina limosa medianamente densa, arena fina limosa densa, arcillas arenosa compacta, arcilla con arena fina compacta (Ingeniería del Norte, 2008).

### 2.2.2 Clima

El bosque natural de algarrobo del campus de la UDEP, pertenece a la Ecorregión del bosque seco Ecuatorial (Brack, 1988), en donde las temperaturas máximas llegan a 34,2° C y las mínimas a 15°C respectivamente, la humedad promedio anual es del 66%, con una velocidad de viento de 3m/s, las precipitaciones pluviales muestran 59,6mm (Cuencas Andinas, 2004). En los muestreos de extracción de raíces se realizaron entre junio-octubre del 2012, siendo las temperaturas como máximo de 30,3°C y mínima de 17,8°C, la humedad promedio estuvo en 70,6%.

Cuadro1. Resumen de datos climáticos, promedios mensuales

Meses	T° Máxima (°C)	T° Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)
junio	30	19,2	70,2	0
julio	30,3	20,4	74,2	0
agosto	28,18	17,8	70,2	0
setiembre	29,5	18,1	69,2	0,51
octubre	30,2	18,1	70	2,03

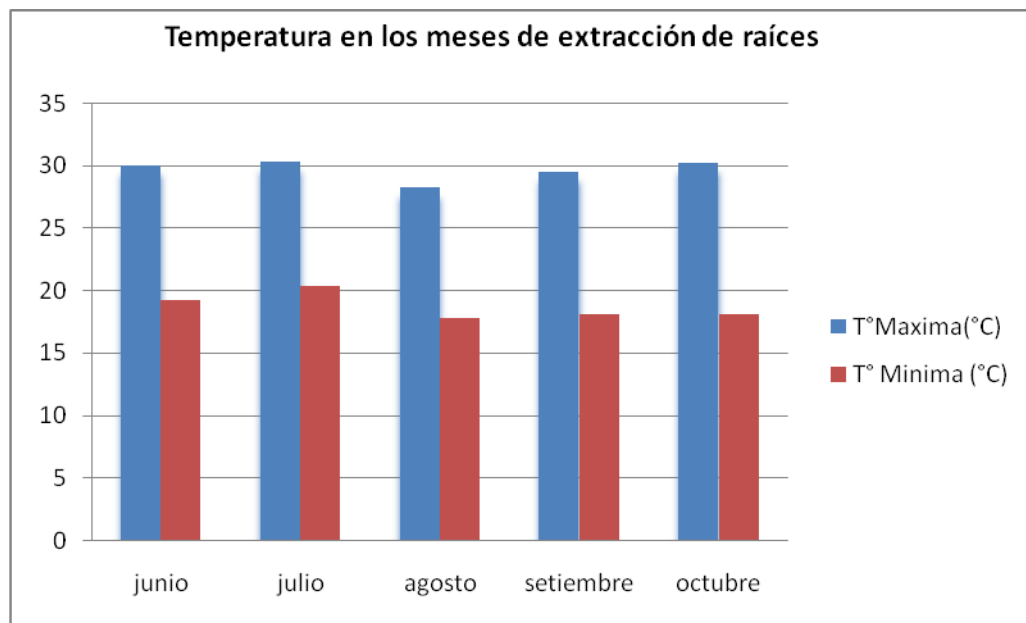


Fig. 2. Temperaturas Máximas y mínimas durante la extracción de raíces.

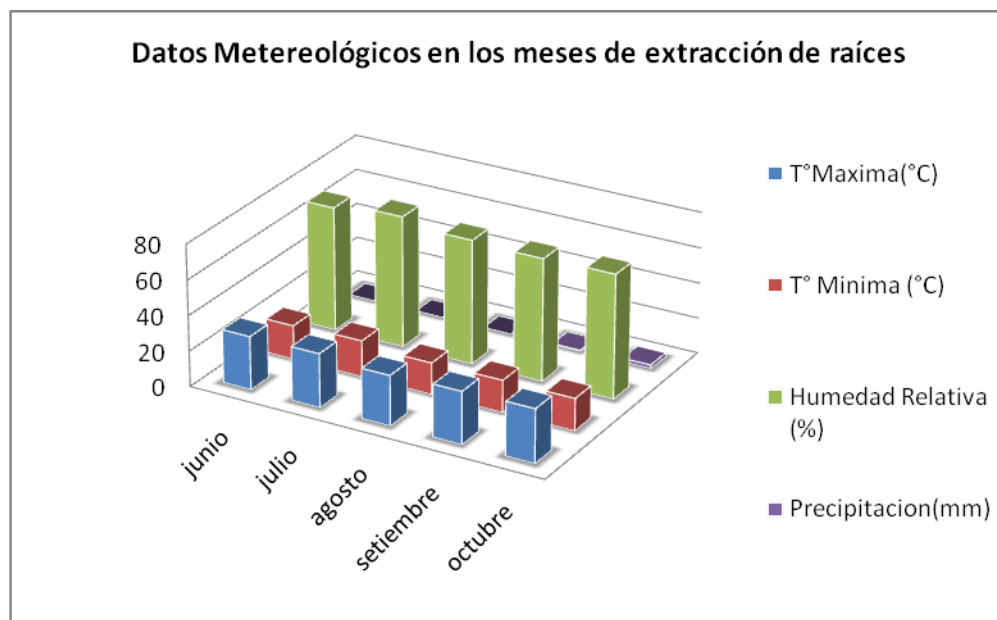


Fig. 3. Datos Meteorológicos durante la extracción de raíces

### 2.2.3 Clasificación ecológica

El bosque natural de algarrobo pertenece a la Ecorregión del Bosque Seco Ecuatorial (BSE) y según (Holdridge, 1967) a la zona de vida Desierto Superarido Premontano Tropical (*ds-PT*) La vegetación dominante es *Prosopis pallida*, con algunas formaciones abiertas de *Acacia macracantha*, *Parkinsonia aculeata*, entre otras.

## 2.3 Diseño del muestreo

La unidad de muestreo que se utilizó para la recopilación de datos fue adaptado en base al esquema utilizado por el proyecto Algarrobo en Perú (MINAG, 2003).

### 2.3.1 Tamaño, forma, ubicación y número de las parcelas

**2.3.1.1 Tamaño y forma de la parcela:** En el presente trabajo se usó parcelas cuadradas de un tamaño de 50m x 50m.



Fig.4. Forma cuadrada de la Parcela

**2.3.1.2 Selección de los sitios específicos para cada parcela:** La ubicación de las parcelas se realizó a través de un mapa del área del bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura, este posteriormente se dividió en cuadrantes a los cuales se le asignó un número. Para la selección aleatoria simple de la ubicación de una parcela, se realizó un sorteo entre los números que representaron a los parcelas, una vez seleccionadas se pasó a ubicarlos en el mapa y anotar sus coordenadas geográficas.

**2.3.1.3 Número de parcelas:** Para la instalación de las parcelas se realizó un muestreo preliminar, en el cual se marcaron todos los árboles que se encontraron dentro de las 5 parcelas localizadas en el paso anterior, con la finalidad de conocer la varianza estimada, el nivel de precisión y error estimado (referenciado en el nivel de confianza seleccionado) y finalmente se usó la siguiente formula estadística:

$$N = \frac{CV^2 * t^2}{E^2}$$

Donde:

N = número de parcelas

E = error permitido

t = valor estadístico de la distribución de t para un nivel de 95% de confianza (generalmente es 1,92 que se redondea a 2).

CV = coeficiente de variación.

Mediante la aplicación de la formula se obtuvo como resultado lo siguiente:

$$N = \frac{CV^2 * t^2}{E^2}$$

$$N = \frac{(9,182566451)^2 * (2,571)^2}{(10)^2}$$

N= 6 parcelas
---------------

## 2.4 Cálculos de biomasa y carbono radicular

### 2.4.1 Biomasa radicular y secuestro de carbono

Para estimar el carbono en la biomasa radicular, se usaron las parcelas de 50 x50m antes mencionadas y los datos dasométricos de DAP y altura de los árboles contenidos en las mismas, las cuales se utilizaron para la elaboración de las ecuaciones alométricas

Los valores de la biomasa fueron obtenidas a través de cálculos utilizando las ecuaciones alométricas que se elaboraron para los diferentes diámetros de la raíz.

Finalmente para estimar la cantidad de carbono en la biomasa total de las raíces, se utilizó, la siguiente formula.

<b>CBR (t/ha)= BRT x0,5</b>
-----------------------------

Donde:

**CBR**=Carbono en la biomasa radicular total (t/ha)

**BRT**= Biomasa radicular total

**0,5** = Fracción de carbono en la biomasa (IPCC, 1994)



## 2.5 Determinación de la ecuación alométrica

La determinación de la ecuación alométrica se siguió, el modelo para la biomasa aérea de Llanos, M. (2010).

### 2.5.1 Ubicación y toma de datos de árboles para su posterior tala y remoción

- Se georreferenció al árbol, con un GPS Garmin Map 60 CSX.
- Para la Medición de DAP, se usó una cinta métrica, a una altura de 1,30 m del suelo.
- Para la medir la altura de utilizó el clinómetro SUUNTO a una distancia mínima de 15 metros.

### 2.5.2 Selección de los árboles y tocones muestra

Para la elaboración de las ecuaciones alométricas, se derribaron 25 árboles, ya seleccionados, en estos árboles se tuvo en cuenta la abundancia de individuos por clases diamétricas en cada parcela, los cuales fueron seleccionados mediante un sorteo al azar.

Cuadro 2. Distribución de árboles por clases diamétricas en cada parcela

<b>Clases diamétricas(cm)</b>	<b>Número de individuos</b>	<b>Parcelas</b>
0 – 5	3	1,3,5
5 – 10	8	1,2,3,5
10 – 15	4	2,4,5
15 – 20	4	3,4
20 – 25	4	1,2,4
25 – 30	1	5
30 – 35	1	4
Total	25	

### 2.5.3 Tala de los árboles seleccionados

Los arboles seleccionados fueron cortados a una altura promedio de 32cm del suelo para quedar solamente los tocones, para esto se usó una motosierra Hugsvarna 395XP.

### 2.5.4 Identificación del área de remoción del suelo

El procedimiento fue tomado del Manual, muestreo de biomasa forestal, propuesta por Schlegel *et al.* (2000). Se identificaron los tocones, y a la vez se determinó la zona de influencia de raíces (ZIR), sobre la cual se trabajó removiendo el suelo.

Se definieron los radios de acción para límites de trabajo, según el DAP del árbol.

Cuadro 3. Radios de acción según DAP y según influencia de raíces

<b>Radios de acción según DAP del árbol. Rango de Diámetro del Árbol (cm)</b>	<b>Radio de acción según Influencia de raíces (m)</b>
2-5	<1,0
5-10	1,0-1,5
10-20	1,5-2,2
20-35	2,0-2,5
35-50	2,0-3,5
>50	3,0-4,0



Fig.5. Zona de radio de acción

#### **2.5.5 Ejecución de la excavación inicial**

Se procedió a cavar un hoyo en la periferia de la zona de trabajo demarcada. La profundidad del suelo se determinó hasta identificar la zona de concentración radicular y para la raíz principal hasta un diámetro de 2cm.

Para esto se utilizó en forma manual herramientas como palas y picos, con el fin de no causar daño ni destrozo a las raíces.

#### **2.5.6 Exposición de las raíces gruesas**

Para lograr soltar las raíces se realizó el menor esfuerzo de tracción, el cual fue de la siguiente manera; soltando y removiendo la zona de remoción de suelo, para este efecto se utilizó, palas, extrayendo la tierra suelta y arrojando fuera de la zona demarcada.

Una vez suelta la raíz (lo más posible), se realizó la extracción de esta, para esto fue necesario extraerlas cuidadosamente, tratando de sacarla por completo, en raíces en donde aún queda partes retenidas de tierra, estas se quitaron con una pala y mediante una espátula de 50cm.



Fig.6. Zona de remoción de raíces

#### **2.5.7 Limpiado de raíz**

Se limpiaron las raíces (se sacó el suelo adherido), para su posterior pesado. Este procedimiento se realizó de forma manual. Cabe señalar que el levantamiento de la raíz incluyendo suelo adherido fue favorable porque permitió que se extraigan inclusive raíces de diámetros menores.

#### **2.5.8 Medición y pesado de raíces**

Para el estudio radicular se realizó una serie de mediciones de diámetros determinados de 0,5; 2; 5 y >10 cm de diámetro.

En donde la raíz se dividió en líneas imaginarias y en cada uno de ellos se realizó mediciones de las raíces.

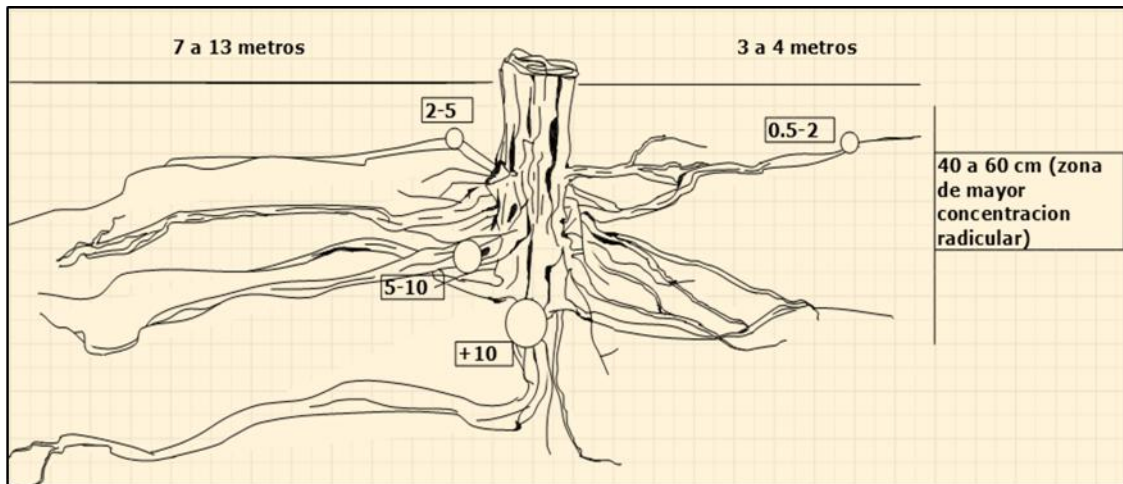


Fig. 7. Identificación de los diámetros en una raíz de “algarrobo”

Posteriormente se cortó la raíz diferenciando cuatro subdivisiones (secciones diamétricas), entre 0,5 - 2 cm; entre 2 - 5 cm; entre 5 - 10 cm y una sección mayor a 10 cm de diámetro radicular (tocón radicular). Primero se separaron las raíces delgadas y medianas con un serrucho de mano, luego se separarán las raíces gruesas. Posteriormente se pesaron en una balanza de mano de 1kg y una de reloj de 5kg Roma, por separado y se tomaron los valores.



Fig. 8. Raíces trozadas por diferentes diámetros



### 2.5.9 Determinación de Peso fresco y peso seco

Para la determinación del peso seco de las raíces, se extrajeron muestras de cada tipo de raíz (delgada, media y gruesa).

Se tomaron mediante el método aleatorio simple, 3 muestras de raíces (entre 0,5 - 2 cm de diámetro), 3 muestras de raíces (entre 2 - 5 cm de diámetro) y 3 de raíces (entre 5 - 10 cm de diámetro) de 5 cm de espesor de cada una de ellas, así como también 3 muestras de raíces >10cm. Posteriormente las rodajas (5cm de espesor) se rotularon con los datos de lugar de extracción, con su respectiva codificación, numero de parcela y número del árbol.

### 2.5.10 Transporte de muestras

Las muestras (las rodajas de las secciones diamétricas) fueron llevadas desde el bosque natural de algarrobo hasta el edificio de Química de la Universidad de Piura (el mismo día de extracción) en donde se pesaron en una balanza analítica, luego se procedió con el trabajo de laboratorio.



Fig. 9. Rodaja de raíz, rotulado y pesado

### 2.5.11 Trabajo de laboratorio

Las muestras (rodajas) fueron secadas en el laboratorio de la Universidad de Piura (UDEP), en su planta piloto CITE agroindustrial.



Fig. 10. Estufa con ventilación forzada

- Antes del ingreso de las muestras a la estufa a ventilación forzada MEMMER cada una fue pesada en la balanza de precisión y registradas respectivamente.
- El secado de todas las muestras fue hasta determinar su peso seco constante, en el proceso de secado la temperatura fue de 120°C, las muestras se pesaron por lapsos de tiempo a las 10 y 12 horas, este procedimiento termino cuando todas las muestras obtuvieron un peso seco constante.

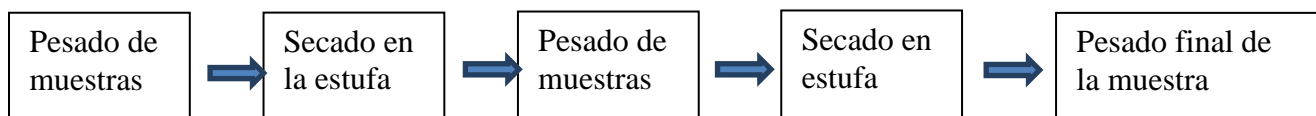


Fig. 11. Diagrama de flujo en laboratorio (Llanos, M. 2010)

### 2.5.12 Trabajo de gabinete

Luego de tener el peso constante de las muestras, se calculó el contenido de humedad radicular, utilizando la siguiente relación:

$$CH = \frac{(P1 - P2)}{P1}$$

Donde:

CH= Contenido de humedad

P1= Peso húmedo de la muestra obtenida en campo

P2= Peso seco constante de la muestra obtenida en la estufa.

Para la determinación del porcentaje del contenido de humedad de cada sección de la raíz.

$$\%CH = CH \times 100$$

Donde:

CH= Contenido de humedad

%CH= Porcentaje del contenido de humedad

Posteriormente se determinó el peso seco total de cada sección de la raíz.

Teniendo registrado el peso húmedo total (de campo) de los componentes de cada sección (diámetros) de la raíz y con el contenido de humedad hallado, se determinó el peso seco total de cada sección de la raíz.

$$MS=1-CH; PS= PV \times MS$$



Donde:

MS= Materia seca

CH= Contenido de humedad

PS= Peso seco total

PV= Peso verde o húmedo total de campo

### 2.5.13 Elaboración de ecuaciones alométricas de biomasa radicular

Mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion versión 15, se realizaron las regresiones lineales simples y múltiples respectivas. Se consideró como variable dependiente a la biomasa seca, hallada para cada los diámetros (0,5 - 2; 2 - 5; 5 - 10;  $\geq 10$ ) y la biomasa radicular total.

Los datos dasométricos, como el DAP (Diámetro a la altura del pecho), así como la altura, se consideraron como variables independientes. Mediante las regresiones mencionadas al inicio se fueron obteniendo las diferentes ecuaciones para cada sección de diámetros.

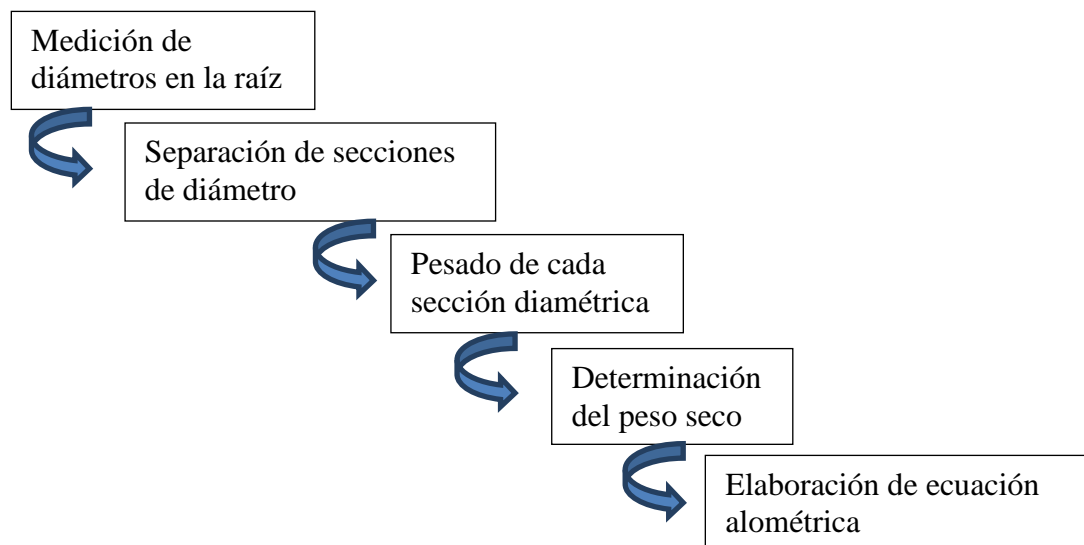


Fig.12. Procedimientos para el desarrollo de ecuación Alométrica (Elaboración propia).

#### **2.5.14 Selección de la mejor ecuación de biomasa radicular total**

De las ecuaciones obtenidas mediante el programa estadístico Statgraphics, se descartaron aquellas que tuvieron  $R^2$  y  $R^2$  ajustado, cercanos a cero, así mismo se realizó las pruebas de F de Fisher a partir de ANOVA y “t” de Student, mediante estas pruebas se eliminaron las ecuaciones que a través de la primera prueba aceptaron la igualdad de varianzas y a través de la segunda fueron descartadas aquellas que no probaron que  $b_i \neq 0$  (Adler, 1980).

Finalmente, de las ecuaciones restantes se seleccionó aquella que tuvo el menor cuadrado medio del error (CME), ya que según Philip, (1994) y Llanos, (2010) para seleccionar la mejor ecuación de regresión para hacer estimaciones, se debe usar el Cuadrado Medio del Error (CME), del ANOVA de la regresión debido ya que esta será la que representara la mejor predicción sobre la producción de biomasa.

#### **2.5.15 Estimación de la biomasa radicular total de todos los arboles**

Teniendo la ecuación de biomasa radicular total, esta fue aplicada a cada árbol (árboles muestra en las 6 parcelas) para lo cual se usaron los valores de las variables independientes de cada uno de estos en la ecuación.

Finalmente ya teniendo la biomasa de todos los árboles, se estimó la cantidad de carbono secuestrado, aplicando la ecuación del punto 2.4.1.

#### 2.5.16 **Carbono total secuestrado en raíces, en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura.**

Para esto se calculó del carbono total secuestrado en raíces, se realizó una extrapolación de datos en los 50 ha del bosque natural de la Universidad de Piura.

#### 2.5.17 **Cantidad de dióxido de carbono equivalente**

Para calcular el dióxido de carbono equivalente, la cantidad de carbono total secuestrado en raíces del bosque natural, se multiplico por el factor 3,67. Este factor se deriva del peso atómico del CO<sub>2</sub>. En otras palabras, 44 unidades de peso de dióxido de carbono (12+32=44) contienen 12 unidades de peso de carbono y 32 unidades de peso de oxígeno. Una unidad de peso de carbono equivale 3,67 unidades de CO<sub>2</sub> (44/12).

Es decir la conversión de carbono a CO<sub>2</sub> se realizó mediante la siguiente ecuación (Herrera, 2002).

$$\text{CO}_2 = \text{Kr} \times \text{C}$$

Donde:

CO<sub>2</sub> = dióxido de carbono (Kg)

C= carbono (Kg)

Kr= 3,67 (relación de pesos moleculares de CO<sub>2</sub> y C)

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Ubicación de las parcelas



Fig. 13. Ubicación de las parcelas distribuidas en el bosque de algarrobo del campus de la Universidad de Piura

##### 3.1.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo de empezó entre setiembre del 2011 y mayo del 2012 en los donde se tomaron los datos dasométricos y la extracción de las raíces fue entre junio y octubre del 2012.

### 3.1.2 Toma de datos en campo

Se tomaron los siguientes datos, Diámetro a la altura del pecho (DAP), así como la altura total. El siguiente cuadro muestra que el DAP oscilo entre los 2,8cm (árbol 9de la parcela 3) y los 32,4cm (árbol 32 de la parcela 3), mientras que la altura estuvo entre 2,3m (arboles 9 de la parcela 3) y 9,89m (árbol 40 de la parcela 2).

Cuadro 4. Datos dasométricos de los 25 árboles seleccionados

N° de Parcelas	Arboles seleccionados	DAP (cm)	ALTURA (m)
1	17	6,04788784	4,557306
	12	7,95774715	3,443803
	19	3,97887358	3,263269
	56	21,4859173	6,377325
2	77	12,1276067	8,643483
	35	8,62619792	6,817094
	66	8,59436693	5,503672
	86	24,3507063	4,447441
	30	12,8278884	6,381212
	40	9,86760647	9,890996
3	9	2,801127	2,3
	34	6,20704278	3,494624
	58	13,1143673	3,95
	32	32,4676084	6,69526
	28	20,5946496	3,793963
	29	15,0242266	5,23046127
	22	15,5971844	5,061829
	21	7,89408518	5,230461
4	9	16,3929591	6,118802
	16	30,876059	8,212797
	20	19,671551	8,454293
	52	24,3507063	8,454229
5	32	25,146481	6,11888
	18	7,0028175	2,3408338
	15	11,6183108	4,25462091

### 3.1.2.1. Pesos húmedos totales de cada sección diamétrica

Los diámetros correspondientes a 0.5-2.0cm y 5-10cm, tuvieron un alto peso húmedo total, el mayor peso húmedo, estuvo en el árbol 20, parcela 4 con 6010,26g y el menor peso hallado para la raíz, fue en el árbol 17, parcela 1 con 65,57g.

Cuadro 5. Resumen de los pesos húmedos de las secciones diamétricas

Nº de Parcela	Árboles seleccionados	Peso Húmedo total de raíces de 0,5-2 (g)	Peso Húmedo de raíces de 2-5(g)	Peso Húmedo total de raíces de 5-10(g)	Peso Húmedo total de raíces de >10(g)	Peso Húmedo total de la raíz (g)
1	17	27,73	0	37,84	0	65,57
	12	242,46	105,40	0	0	347,86
	19	252,33	200,20	0	0	452,53
	56	80,10	0.00	0	0	80,10
2	77	41,20	11,41	0	0	52,61
	35	18,20	282,07	171,70	0	471,97
	66	78,34	151,88	0	181,95	412,17
	86	2370,85	2025,42	535,50	151,10	5082,87
	30	88,22	36,23	0	0	124,45
3	40	125,20	370,92	102,47	138,73	737,32
	9	35,7	29,97	0	0	65,67
	34	323,08	30,32	188,10	0	541,50
	58	159,97	841,46	66,75	0	1068,18
	32	2184,10	1744,15	1008,58	897,21	5834,18
	28	522,73	413,43	0	0	936,16
	29	610,11	274,27	327,77	0	1212,15
	22	300,55	144,07	242,93	0	543,48
	21	252,17	252,55	0	0	504,72
4	9	452,56	466,13	0	0	918,69
	16	1917,25	876,75	1319,24	257,98	4371,22
	20	2320,95	1988,79	771,39	929,13	6010,26
	52	1740,83	1860,03	390,06	523,22	4514,14
5	32	1527,98	1047,50	409,66	0	2985,14
	18	334,43	108,91	0	0	443,34
	15	106,20	343,53	193,95	0	643,68

- La cifra 0 significa que dicho componente no existía en el árbol.

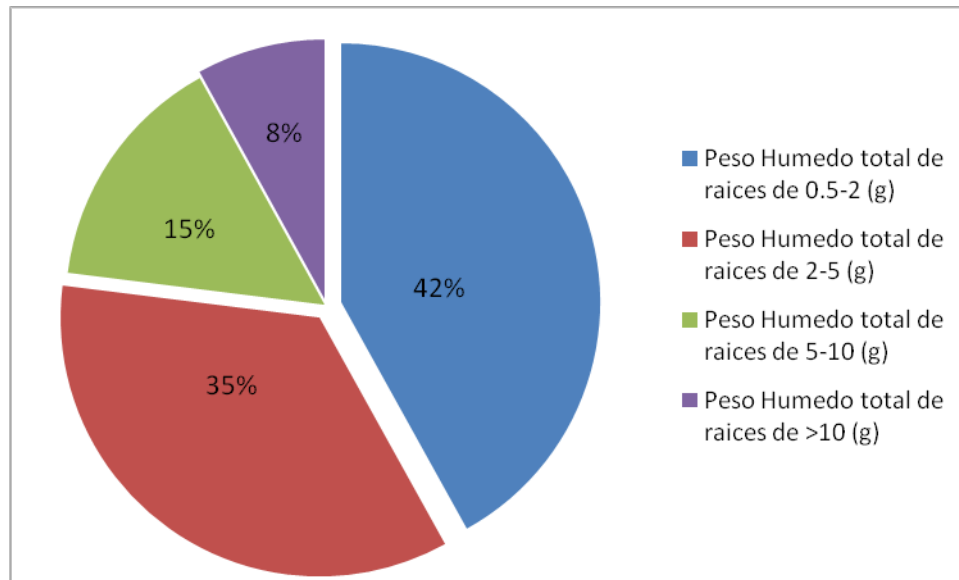


Fig. 14. Distribución de los pesos húmedos totales según cada sección diamétrica de la raíz

### 3.1.2.2. Relación entre los pesos húmedos de secciones diamétricas de 0,5– 2 cm y 2–5cm.

De la relación de los pesos húmedos de las secciones diamétricas de 0,5 - 2 cm y de 2 – 5 cm se observa en el cuadro 06, que el peso húmedo de 0,5 - 2 es 11 veces mayor que el 2 -5 (árbol 34, parcela 3), esto se debe a que la raíz de este árbol, presento mayor cantidad de prolongaciones de esta medida. En total de obtuvieron 75 rodajas de secciones de diámetros de 0,5 - 2 (3 rodajas por raíz).

Cuadro 6. Peso húmedo total de diámetros de raíces de 0,5-2 y 2-5

<b>Nº de Parcela</b>	<b>Árboles seleccionados</b>	<b>Peso Húmedo total de raíces de 0,5-2</b>	<b>Peso Húmedo total de raíces de 2-5</b>	<b>Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2 y peso húmedo total de 2-5</b>
1	17	27,73	0	0
	12	242,46	105,40	2,3
	19	252,33	200,20	1,26
	56	80,10	0	0
2	77	41,20	11,41	3,61
	35	18,20	282,07	0,06
	66	78,34	151,88	0,52
	86	2370,85	2025,42	1,17
	30	88,22	36,23	2,43
3	40	125,20	370,92	0,34
	9	35,7	29,97	1,19
	34	323,08	30,32	10,66
	58	159,97	841,46	0,19
	32	2184,10	1744,15	1,25
	28	522,73	413,43	1,26
	29	610,11	274,27	2,22
	22	300,55	144,07	2,09
	21	252,17	252,55	1
4	9	452,56	466,13	0,97
	16	1917,25	876,75	2,19
	20	2320,95	1988,79	1,17
	52	1740,83	1860,03	0,94
5	32	1527,98	1047,50	1,46
	18	334,43	108,91	3,07
	15	106,20	343,53	0,31

- La cifra 0 significa que dicho componente no existía en el árbol.



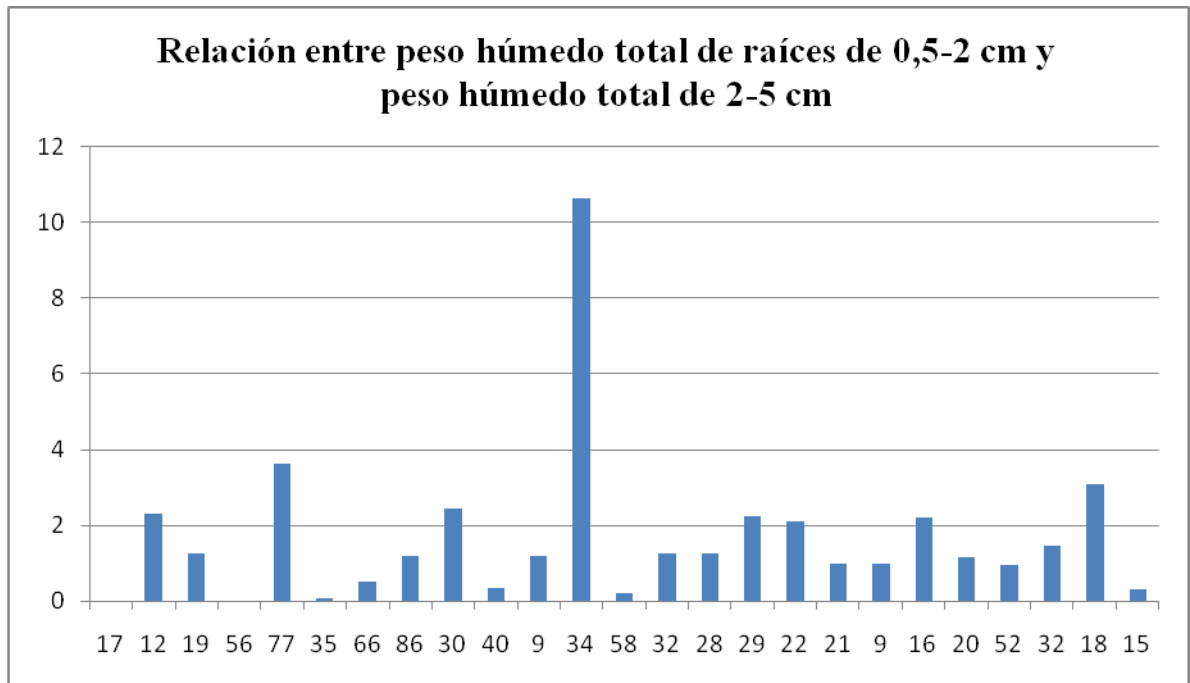


Fig.15. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5 – 2 cm y peso húmedo total de 2-5cm

En la Fig.15 se puede apreciar que en el 17 y 56 las raíces de la parcela 1 no presentan raíces con diámetro de 2 – 5cm, es por ello que la figura muestra los vacíos.

### 3.1.2.3. Relación entre los pesos húmedos de secciones diamétricas de 0,5– 2 cm y 5-10cm.

De la relación establecida entre el peso húmedo total de las secciones diamétricas de 0.5- 2 y 5-10cm (cuadro 07), se observa que el primero supera hasta 5 veces el peso húmedo total de 5-10cm (árbol 52, parcela 4), esto se debe a que este árbol presenta un mayor número de raíces en los diámetros de 0,5-2cm. En total se obtuvieron 42 rodajas de 5-10cm debido a que no todos los árboles presentaban esos diámetros.

Cuadro 07. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5 – 2 cm y 5–10 cm

<b>Nº de Parcela</b>	<b>Árboles seleccionados</b>	<b>Peso Húmedo total (g) de raíces de 0,5-2 cm</b>	<b>Peso Húmedo total (g) de raíces de 5-10 cm</b>	<b>Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2 cm y peso húmedo total de 5-10 cm</b>
1	17	27,73	37,84	0,73
	12	242,46	0	0
	19	252,33	0	0
	56	80,10	0	0
2	77	41,20	0	0
	35	18,20	171,70	0,11
	66	78,34	0	0
	86	2370,85	535,50	4,43
	30	88,22	0	0
3	40	125,20	102,47	1,22
	9	35,7	0	0
	34	323,08	188,10	1,72
	58	159,97	66,75	2,40
	32	2184,10	1008,58	2,17
	28	522,73	0	0
	29	610,11	327,77	1,86
	22	300,55	242,93	1,24
	21	252,17	0	0
4	9	452,56	0	0
	16	1917,25	1319,24	1,45
	20	2320,95	771,39	3,01
	52	1740,83	390,06	4,46
5	32	1527,98	409,66	3,73
	18	334,43	0	0
	15	106,20	193,95	0,55

- La cifra 0 significa que dicho componente no existía en el árbol.

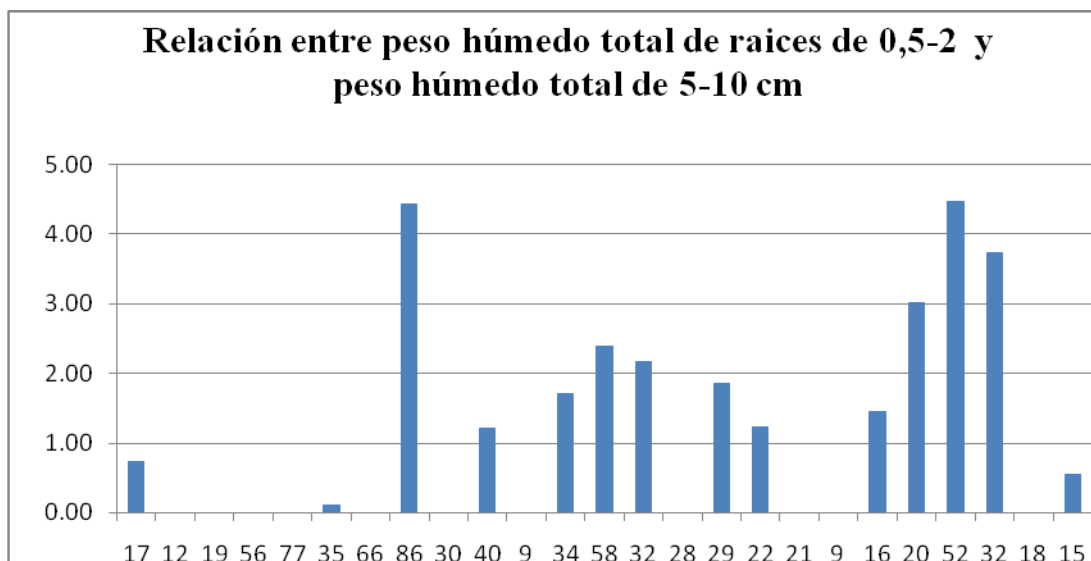


Fig. 16.Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2 y peso húmedo total de 5-10cm

En la Fig.16 se puede apreciar que los arboles 12,19,56, de la parcela 1, así como el árbol 66,77 y 30 de la parcela 2 , el árbol 9, 28,21 de la parcela 3, el árbol 9 de la parcela 4 y el árbol 18 de la parcela 5, no presentaron raíces con diámetros de 5-10cm.

#### 3.1.2.4. Relación entre los pesos húmedos de secciones diamétricas de 0,5- 2 y >10cm

De la relación establecida entre el peso húmedo total de las secciones diamétricas de 0,5- 2 y >10(cuadro 8), se observa que el primero supera hasta 16 veces el peso húmedo total de >10cm (árbol 86, parcela 2), esto se debe a que este árbol presenta un mayor número de raíces en los diámetros de 0,5-2cm. En total se obtuvieron 21 rodajas de >10cm debido a que no todas los arboles presentaban esos diámetros.

Cuadro 8. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5 - 2 y >10

Nº de Parcela	Árboles seleccionados	Peso Húmedo total (g) de raíces de 0,5-2	Peso Húmedo total(g) de raíces >10	Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2 y peso húmedo total de >10
1	17	27,73	0	0
	12	242,46	0	0
	19	252,33	0	0
	56	80,10	0	0
2	77	41,20	0	0
	35	18,20	0	0
	66	78,34	181,95	0,43
	86	2370,85	151,1	15,69
	30	88,22	0	0
3	40	125,20	138,73	0.9
	9	35,7	0	0
	34	323,08	0	0
	58	159,97	0	0
	32	2184,10	897,21	2,43
	28	522,73	0	0
	29	610,11	0	0
	22	300,55	0	0
	21	252,17	0	0
4	9	452,56	0	0
	16	1917,25	257,98	7,43
	20	2320,95	929,13	2,50
	52	1740,83	523,22	3,33
5	32	1527,98	0	0
	18	334,43	0	0
	15	106,20	0	0

- La cifra 0 significa que dicho componente no existía en el árbol.

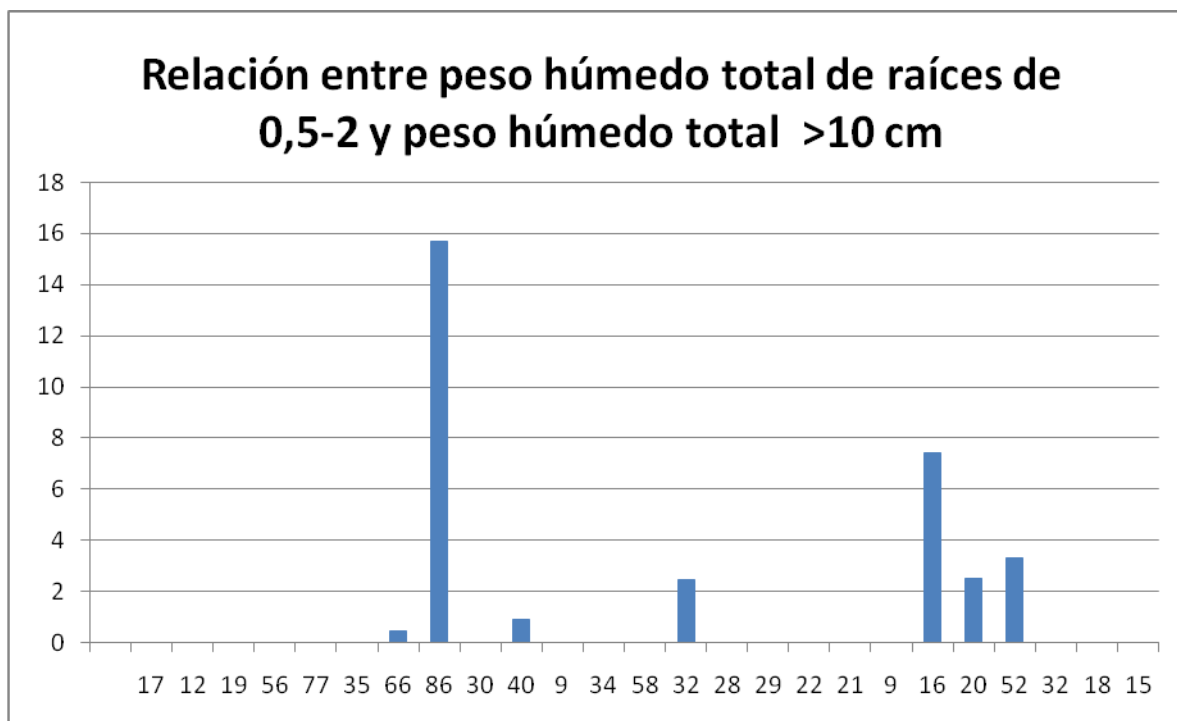


Fig.17. Relación entre peso húmedo total de raíces de 0,5-2 y peso Húmedo total >10 cm

En la Fig.17 se puede apreciar que los arboles (17,12,19,56)de la parcela 1, (77,35,30) de la parcela 2, (9, 34,58,28,29,22,21) de la parcela 3, el árbol 9 de la parcela 4 y el árbol 32,15,18 de la parcela 5, no presentan raíces con diámetros de >10cm.

### 3.1.3 Trabajo de gabinete

#### 3.1.3.1 Obtención de los pesos secos constantes y porcentaje del contenido de humedad

Una vez obtenidos los pesos secos constantes (cuadro9) mediante el secado, se determinó el contenido de humedad de cada una de las muestras ingresadas en el horno (cuadro 10).

Cuadro 9. Resumen de los pesos secos constantes(g) de los componentes de los 25 árboles seleccionados

<b>Nº de Parcela</b>	<b>Árboles seleccionados</b>	<b>Peso Seco Constante(g) de raíces 0,5-2cm</b>	<b>Peso Seco Constante(g) de raíces 2-5cm</b>	<b>Peso Seco Constante (g) de raíces 5-10cm</b>	<b>Peso seco Constante total (g) de rodajas en raíces de &gt;10gr</b>	<b>Peso seco Constante de la raíz(g)</b>
1	17	2,62	0	52,4	0	55,02
	12	9,64	62,65	0	0	72,29
	19	8,82	28,79	0	0	37,61
	56	1,75	0	0	0	1,75
2	77	5,77	32,32	0	0	38,09
	35	1,92	54,13	59,14	0	115,19
	66	3,95	28,14	0	135,88	167,97
	86	11,03	38,33	304,56	177,53	531,45
	30	4,46	19,2	0	0	23,66
3	40	1,94	53,6	189,2	202,25	446,99
	9	2,94	36,18	0	0	39,12
	34	2,83	42,36	84,43	0	129,62
	58	2,43	20,5	149,55	0	172,48
	32	8,33	16,95	340,37	280,2	645,85
	28	4,76	59	0	0	63,76
	29	3,52	17,15	95,3	0	115,97
	22	7,25	16,38	94,96	0	118,59
	21	2,79	18,5	0	0	21,29
4	9	10,48	24,31	0	0	34,79
	16	9,5	12,54	121	285,7	428,74
	20	9,84	54,72	223,6	186,5	474,66
	52	3,04	30,56	134,54	265,3	433,44
5	32	11,14	28,16	90,2	0	129,5
	18	2,78	62,65	0	0	65,43
	15	2,05	14,82	98,55	0	115,42

Cuadro 10. Contenido de humedad (CH) hallado en cada uno de los 25 árboles seleccionados

Nº de Parcela	Árboles seleccionados	Contenido de humedad (0,5-2cm)	Contenido de humedad (2-5cm)	Contenido de humedad (5-10cm)	Contenido de humedad (>10 cm)	Contenido de humedad de la raíz
1	17	0,28	0	0,38	0	0,66
	12	0,21	0,35	0	0	0,56
	19	0,25	0,25	0	0	0,5
	56	0,31	0	0	0	0,31
2	77	0,27	0,23	0	0	0,5
	35	0,17	0,33	0,31	0	0,81
	66	0,14	0,19	0	0,19	0,52
	86	0,33	0,29	0,16	0,14	0,92
	30	0,29	0,07	0	0	0,36
3	40	0,26	0,33	0,1	0,11	0,8
	9	0,12	0,15	0	0	0,27
	34	0,18	0,15	0,3	0	0,63
	58	0,19	0,28	0,13	0	0,6
	32	0,27	0,22	0,23	0,21	0,93
	28	0,28	0,3	0	0	0,58
	29	0,2	0,32	0,22	0	0,74
	22	0,17	0,29	0,2	0	0,66
	21	0,17	0,27	0	0	0,44
4	9	0,22	0,22	0	0	0,44
	16	0,14	0,12	0,25	0,21	0,72
	20	0,24	0,25	0,38	0,3	1,17
	52	0,2	0,28	0,19	0,18	0,85
5	32	0,26	0,25	0,25	0	0,76
	18	0,27	0,35	0	0	0,62
	15	0,16	0,31	0,27	0	0,74

### 3.1.3.2 Obtención del peso seco total de cada sección diamétrica de la raíz

Teniendo el peso seco constante y el contenido de humedad, se calculó la biomasa seca total de cada una de las secciones diamétricas (0,5-2; 2-5; 5-10; >10) y la total.

Los resultados obtenidos de la biomasa total de las raíces, se encuentra entre 134,2 g del árbol 17 de la parcela 1 y 34278,77g del árbol 16 en la parcela 4 (cuadro 11).

Cuadro 11. Peso seco total de cada sección diamétrica de la raíz de los 25 árboles seleccionados.

Nº de Parcela	Árboles seleccionados	Peso Seco total de raíces de 0,5-2 (g)	Peso Seco total de raíces de 2-5 (g)	Peso Seco total de raíces de 5-10 (g)	Peso Seco total de raíces de >10 (g)	Peso secos Total de la raíz (g)
1	17	72,07	0	62,16	0	134,23
	12	897,53	194,61	0	0	1092,14
	19	747,67	599,79	0	0	1347,46
	56	174,9	0	0	0	174,9
2	77	108,81	38,59	0	0	147,4
	35	31,8	577,92	378,3	0	988,02
	66	471,66	648,12	0	798,05	1917,83
	86	4844,15	5074,58	2884,51	948,9	13752,14
	30	211,77	463,77	0	0	675,54
3	40	354,81	739,08	897,53	1111,26	3102,68
	9	264,3	170,04	0	0	434,34
	34	1426,92	1769,68	431,9	0	3628,5
	58	690,03	2183,54	433,25	0	3306,82
	32	6030,93	6355,85	3411,42	3462,79	19260,99
	28	1327,28	986,56	0	0	2313,84
	29	2489,89	575,73	1192,23	0	4257,85
	22	1449,45	355,93	977,07	0	2782,45
	21	1197,83	667,45	0	0	1865,28
4	9	1627,44	1613,87	0	0	3241,31
	16	11882,75	6223,25	3930,76	12242,01	34278,77
	20	7529,05	5961,2	1278,61	2171,86	16940,72
	52	6759,05	4689,97	1709,94	2426,78	15585,74
5	32	4372,02	3152,52	1210,34	0	8734,88
	18	905,57	201,09	0	0	1106,66
	15	573,81	756,47	516,04	0	1846,32



### **3.1.3.3 Variables utilizadas en la formulación de las ecuaciones alométricas**

Habiendo calculado la biomasa seca de cada sección diamétrica (0,5-2cm; 2-5cm; 5 - 10cm; >10cm), estas fueron utilizadas como variables dependientes y el DAP con la Altura, como variables independientes.

Cuadro 12. Variables dependientes e independiente utilizadas en la elaboración de ecuaciones alométricas

N° de Parcela	Árboles seleccionados	VARIABLES DEPENDIENTES					VARIABLES INDEPENDIENTES	
		Peso Seco total de raíces de 0,5-2 (g)	Peso Seco total de raíces de 2-5 (g)	Peso Seco total de raíces de 5-10 (g)	Peso Seco total de raíces de >10 (g)	Peso seco total de la raíz(g)	DAP (cm)	ALTURA (m)
1	17	72,07	0	62,16	0	134,23	6,047884	4,557306
	12	897,53	194,61	0	0	1092,14	7,957747	3,443803
	19	747,67	599,79	0	0	1347,46	3,978873	3,263269
	56	17,9	0	0	0	174,9	21,48593	6,377325
2	77	108,81	38,59	0	0	147,4	12,12767	8,643483
	35	31,8	577,92	378,3	0	988,02	8,62612	6,817094
	66	471,66	648,12	0	798,05	1917,83	8,59433	5,503672
	86	4844,15	5074,58	2884,51	948,9	13752,14	24,35063	4,447441
	30	211,77	463,77	0	0	675,54	12,82784	6,381212
3	40	354,81	739,08	897,53	1111,26	3102,68	9,86767	9,890996
	9	264,3	170,04	0	0	434,34	2,80127	2,3
	34	1426,92	1769,68	431,9	0	3628,5	6,20704	3,494624
	58	690,03	2183,54	433,25	0	3306,82	13,11436	3,95
	32	6030,93	6355,85	3411,42	3462,79	19260,99	32,46184	6,69526
	28	1327,28	986,56	0	0	2313,84	20,59496	3,793963
	29	2489,89	575,73	1192,23	0	4257,85	15,02466	5,230465
	22	1449,45	355,93	977,07	0	2782,45	15,59744	5,061829
	21	1197,83	667,45	0	0	1865,28	7,894018	5,230461
4	9	1627,44	1613,87	0	0	3241,31	16,32591	6,118802
	16	11882,75	6223,25	3930,76	12242,01	34278,77	30,87659	8,212797
	20	7529,05	5961,2	1278,61	2171,86	16940,72	19,67151	8,454293
	52	6759,05	4689,97	1709,94	2426,78	15585,74	24,35073	8,454229
5	32	4372,02	3152,52	1210,34	0	8734,88	25,14681	6,11888
	18	905,57	201,09	0	0	1106,66	7,00275	2,340833
	15	573,81	756,47	50 516,04	0	1846,32	11,61831	4,254620

### 3.1.3.4 Elaboración de las ecuaciones para estimar la biomasa de cada sección diamétrica de la raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo”

**3.1.3.4.1** Análisis de las ecuaciones en función al coeficiente de determinación “ $R^2$ ” y coeficiente de correlación de Pearson “ $r$ ”. Los valores del coeficiente de correlación de Pearson oscilan entre  $-1$  y  $+1$ , y a la vez se muestran los valores de  $R$ ,  $R^2$  y  $R^2$  ajustando.

**3.1.3.4.2** Selección de la ecuación final para cada sección diamétrica de la raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo”.

Cuadro 13. Ecuación final para estimar biomasa de 0,5 a 2cm.

Ecuación de biomasa de 0,5-2 cm	Coeficiente de correlación	$R^2$	$R$	$R^2$ ajustado	Valor-P	CME
BIOMASA = -83,1247 + 8,39121*DAP <sup>2</sup>	0,81	66,65	8,16	65,2	0,000	3,11E+11

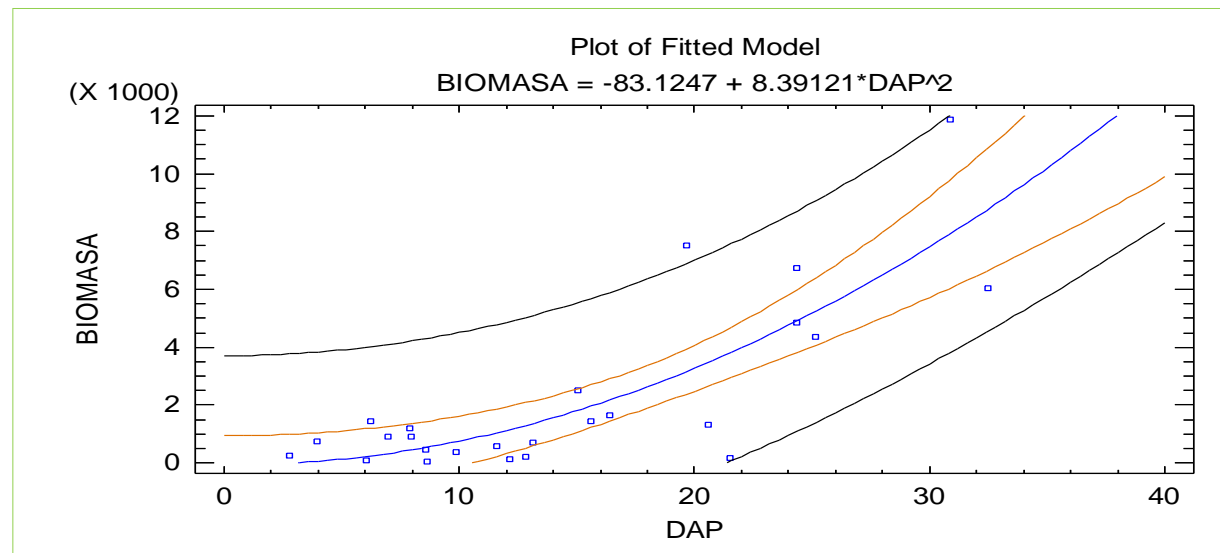


Fig.18. Ecuación de biomasa de 0,5 - 2 cm.

Cuadro 14.Ecuación final para estimar biomasa de 2- 5cm.

Ecuación de biomasa de 2-5cm	Coefficiente de correlación	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup> ajustado	Valor-P	CME
BIOMASA =61,0354 + 6,09036*DAP <sup>2</sup>	0,82	68,65	8,28	67,29	0,000	1,50E+06

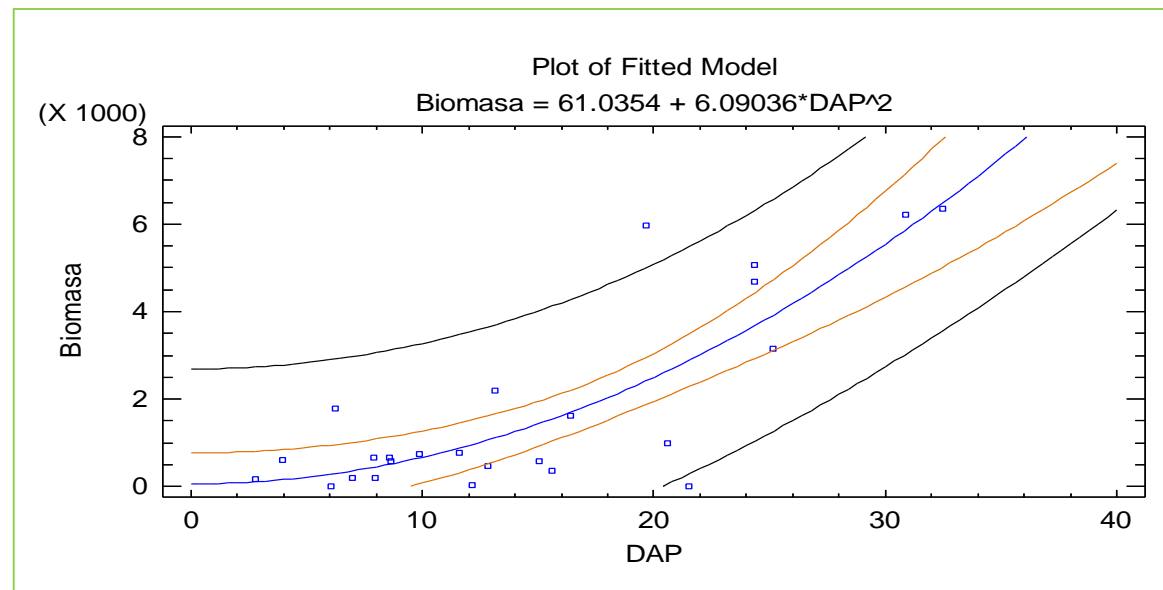


Fig.19. Ecuación de biomasa de 2-5cm.

Cuadro 15.Ecuación final para estimar biomasa de 5-10cm

Ecuación de biomasa de 5-10cm	Coefficiente de correlación	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup> ajustado	Valor-P	CME
BIOMASA = -150,181 + 3,30783*DAP <sup>2</sup>	0,85	72,99	8,54	71,81	0,000	3,58E+05

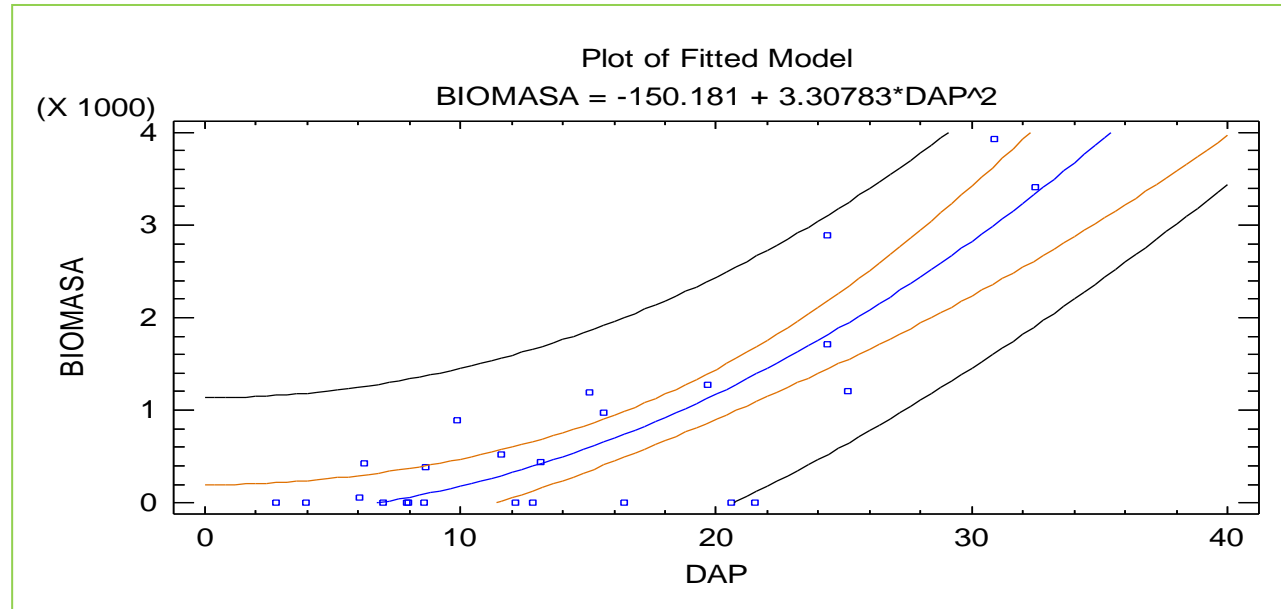


Fig.20.Ecuación de biomasa de 5-10cm.

Cuadro. 16.Ecuación final para estimar biomasa >10cm

Ecuación de biomasa de > 10	Coefficiente de correlación	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup> ajustado	Valor-P	CME
BIOMASA = $(-4,70054 + 0,0681477 \cdot \text{DAP}^2)^2$	0,72	52,33	7,23	50,26	0,000	3,74E+02

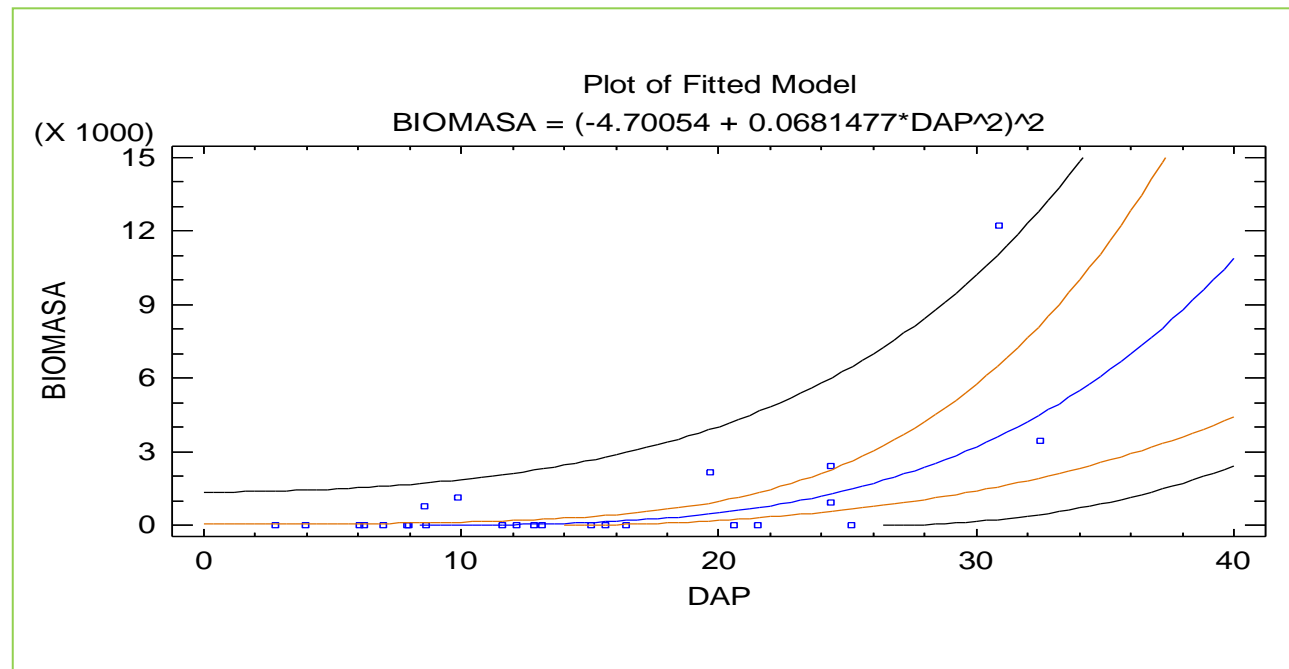


Fig.21.Ecuación de biomasa >10cm.

Cuadro 17.Ecuación final para estimar biomasa de la raíz

ECUACION DE BIOMASA DE LA RAIZ	Coefficiente de correlación	R2	R	R2 ajustado	Valor-P	CME
BIOMASA = -874,247 + 23,627*DAP <sup>2</sup>	0,84	70,23	8,38	68,92	0,000	2,09E+07

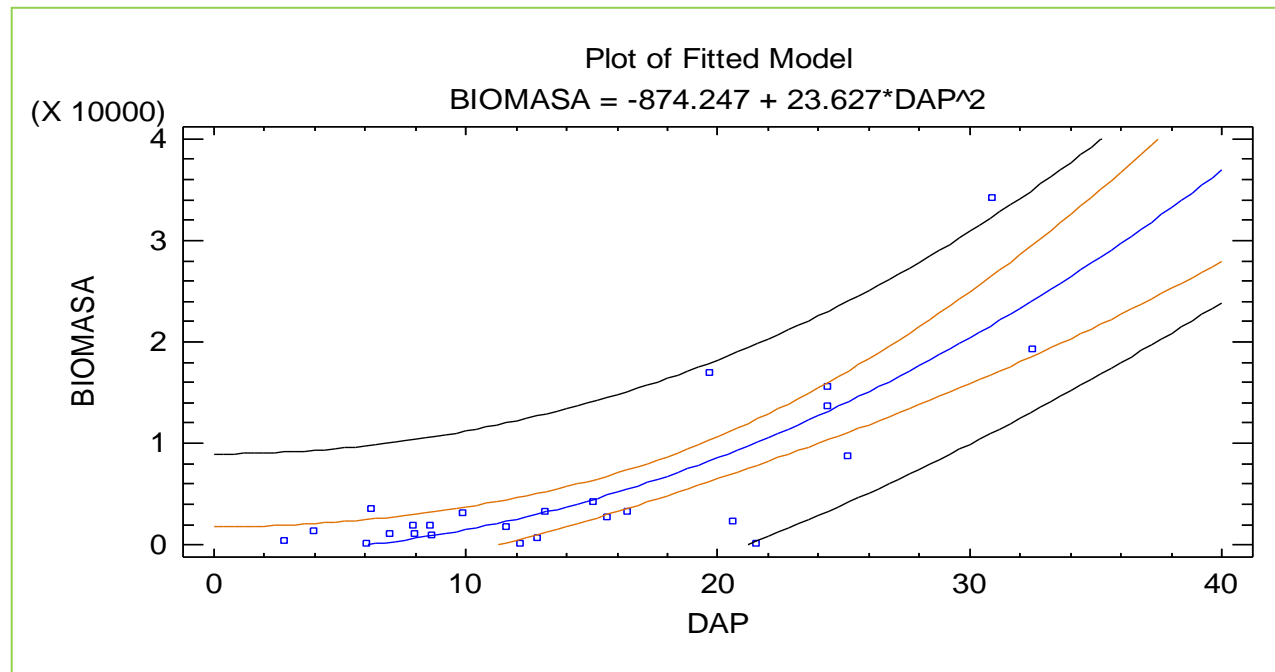


Fig.22. Ecuación de biomasa de la raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo”

Cuadro 18. Comparación entre el peso seco total o biomasa radicular total y la biomasa radicular total estimada.

N° de Parcela	Arboles seleccionados	Biomasa radicular total(g)	DAP (cm)	Biomasa estimada(g) $BIOMASA = -874,247 + 23,627 * DAP^2$
1	17	134,23	6,04788784	-10,04
	12	1092,14	7,95774715	621,95
	19	1347,46	3,97887358	-500,20
	56	174,9	21,4859173	10033,03
2	77	147,4	12,1276067	2600,78
	35	988,02	8,62619792	883,87
	66	1917,83	8,59436693	870,92
	86	13752,14	24,3507063	13135,55
	30	675,54	12,8278884	3013,69
3	40	3102,68	9,86760647	1426,31
	9	434,34	2,801127	-688,86
	34	3628,5	6,20704278	36,04
	58	3306,82	13,1143673	3189,28
	32	19260,99	32,4676084	24032,05
	28	2313,84	20,5946496	9146,90
	29	4257,85	15,0242266	4459,01
	22	2782,45	15,5971844	4873,54
	21	1865,28	7,89408518	598,11
4	9	3241,31	16,3929591	5475,02
	16	34278,77	30,876059	21650,10
	20	16940,72	19,671551	8268,69
	52	15585,74	24,3507063	13135,55
5	32	8734,88	25,146481	14066,18
	18	1106,66	7,0028175	284,41
	15	1846,32	11,6183108	2315,05
		<b>142916.81 g</b>		<b>142916,93 g</b>



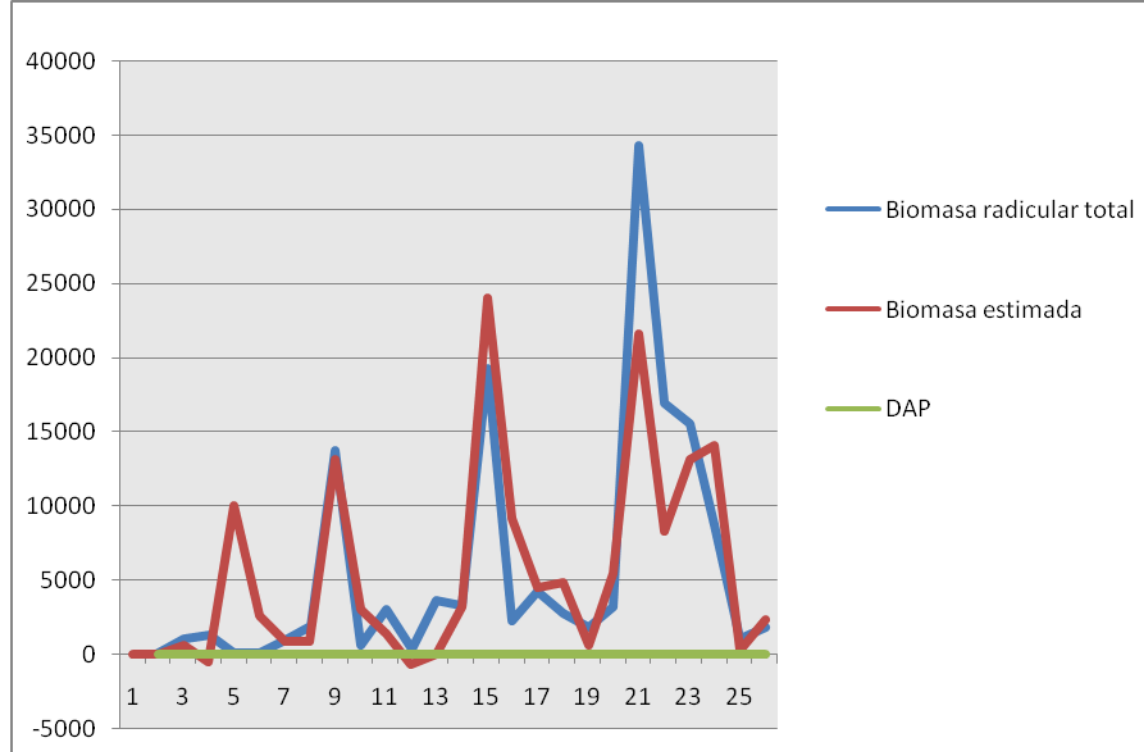


Fig. 23. Relación entre la biomasa radicular total, la biomasa estimada y el DAP.

La Fig. 23 ilustra el comportamiento de la curva de la biomasa radicular total con la biomasa estimada, en función del DAP, en esta se aprecia que la curva se comporta de acuerdo al patrón esperado, ambas curvas se aprecian muy similares.

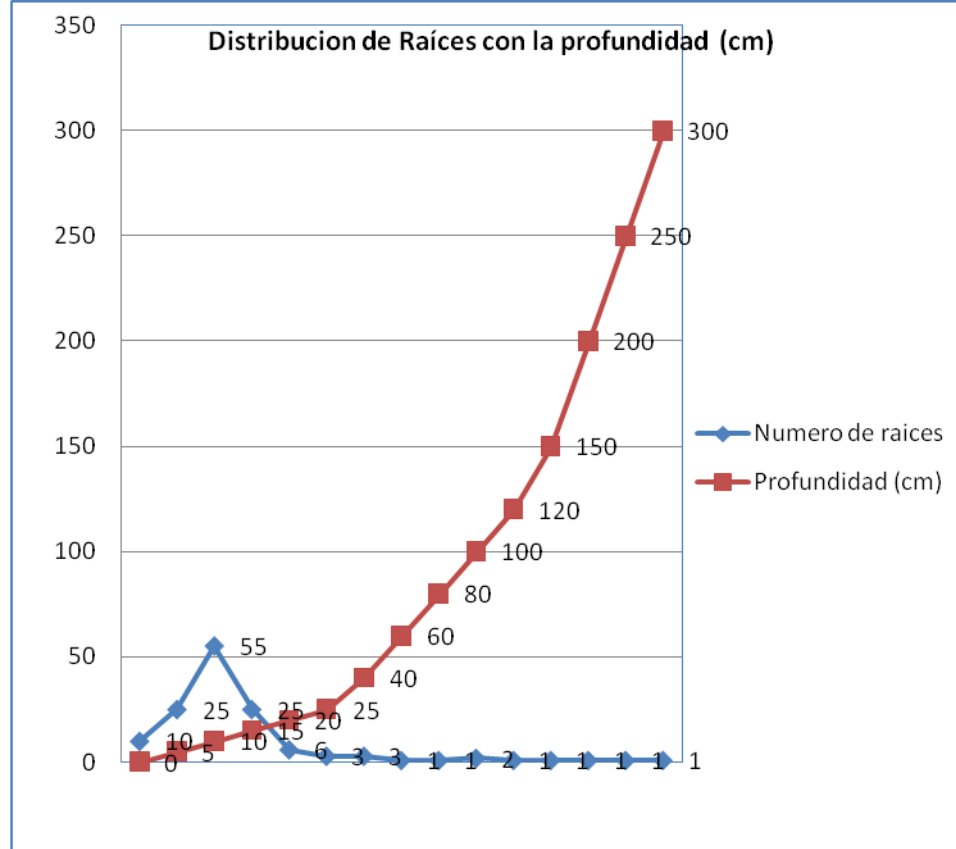


Fig. 24. Relación entre las raíces y la profundidad

Se puede apreciar en la Fig.24 donde la mayor cantidad de raíces, se encuentra en los primeros 60 cm de profundidad.

### 3.1.3.4.3 Aplicación de las ecuaciones para estimar la biomasa radicular de *Prosopis pallida* “algarrobo”.

Ya teniendo la ecuación correspondiente para estimar la biomasa de las secciones diamétricas y la total, estas se aplicaron a los 359 árboles evaluados en las 6 parcelas.

Cuadro19. Estimación de biomasa radicular de *Prosopis pallida* “algarrobo”

	Ecuación	Biomasa estimada (g)
Biomasa de 0.5-2	$B(0.5-2) = -83,1247 + 8,39121 \cdot DAP^2$	1433162,462
Biomasa de 2-5	$B(2-5) = 61,0354 + 6,09036 \cdot DAP^2$	1083655,204
Biomasa de 5-10	$B(5-10) = -150,181 + 3,30783 \cdot DAP^2$	522928,3501
Biomasa de >10	$B(>10) = (-4,70054 + 0,0681477 \cdot DAP^2)^2$	1166243,203
Biomasa Radicular Total	$BRT = -874,247 + 23,627 \cdot DAP^2$	3806194,081

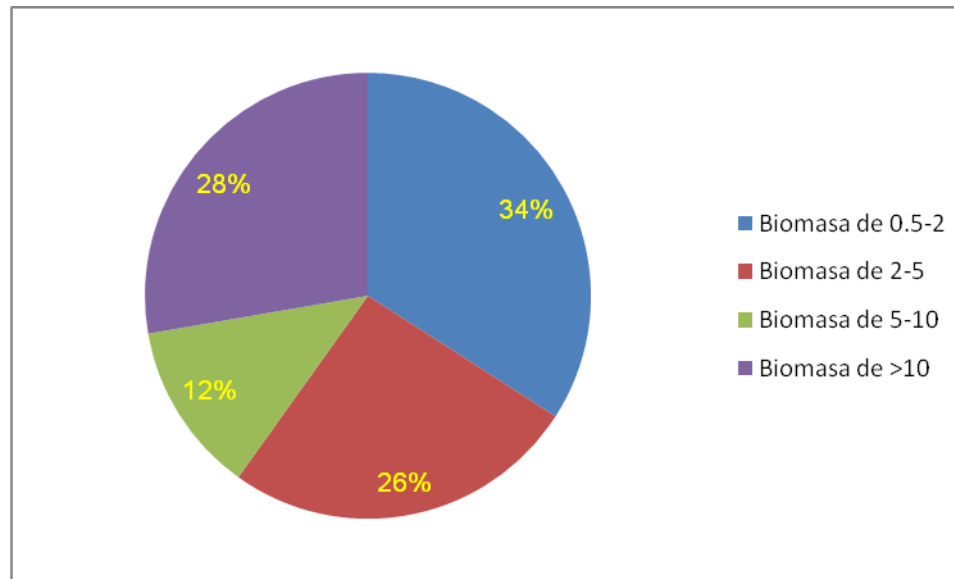


Fig.25 Distribución de la biomasa radicular estimada en los 359 árboles

### 3.1.3.4.4 Biomasa total radicular en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura.

El bosque natural de algarrobo de la Universidad de Piura es de 50Ha, por lo tanto para calcular la cantidad de biomasa se extrapolo, obteniendo el siguiente resultado:

Cuadro 20. Cantidad de biomasa radicular en el bosque natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura

Componente	Biomasa (t/ha)
Biomasa radicular	126,8

### 3.1.3.4.5 Cantidad de carbono secuestrado en cada sección de la raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo”.

Una vez obtenida la biomasa radicular estimada en raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo” (secciones diamétricas y total) se calculó la cantidad de carbono secuestrado.

Cuadro 21. Estimación del carbono secuestrado por cada sección diamétrica de la raíz de *Prosopis pallida* “algarrobo” de los 359 árboles.

Sección diamétrica (cm)	Carbono almacenado (tC/ha)	Carbono Total secuestrado
0,5 - 2	0,716581231	2,10299461
2-5	0,541827602	
5-10	0,261464175	
>10	0,583121602	
Biomasa total radicular		1,903097041

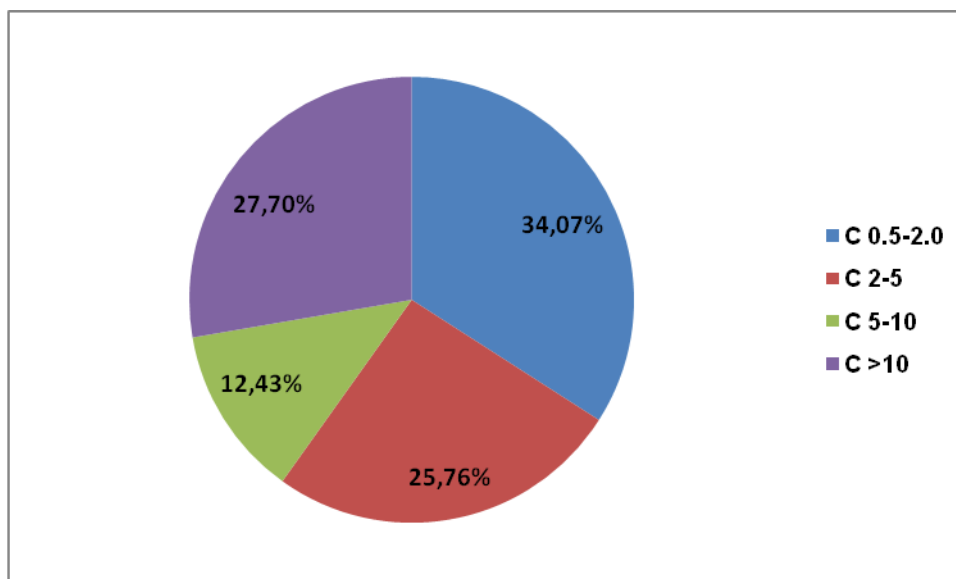


Fig. 26. Distribución de la cantidad de carbono por sección diamétrica de la raíz

#### 3.1.3.4.6 Cantidad de carbono total secuestrado radicular en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura.

El bosque natural de algarrobo de la Universidad de Piura es de 50ha, por lo tanto la cantidad de carbono se extrapola, obteniendo el siguiente resultado:

Cuadro 22. Cantidad de carbono secuestrado radicular por el bosque natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura

Componente	Carbono secuestrado en el bosque natural de algarrobo de la UDEP (tC/ha)
Biomasa radicular	63,33

**3.1.3.4.7** Cantidad total de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) en el bosque natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura.

Del total de carbono radicular secuestrado 63,33tC/ha, se procedió a obtener el dióxido de carbono equivalente de la siguiente manera:

Cuadro 23. Cantidad total de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) en el bosque natural de algarrobo UDEP

<b>Carbono secuestrado en el bosque natural de algarrobo de la UDEP (tC/ha)</b>	<b>Factor de conversión</b>	<b>Dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e)</b>
63,33	3,67	232,4211

**3.1.3.4.8** Relación carbono radicular con la biomasa total y el carbono del árbol *Prosopis pallida*.

Cuadro 24. Porcentaje de carbono radicular con respecto al carbono total, en el bosque natural de algarrobo UDEP.

<b>Componentes</b>	<b>Carbono Secuestrado en las 50 Ha del bosque natural de <i>Prosopis pallida</i></b>
<b>Parte aérea</b>	276,5
<b>Parte radicular</b>	63,33
<b>Porcentaje radicular con respecto a la total</b>	18%

#### IV. DISCUSIÓN

Es sabido que el sistema radicular es decisivo para el desarrollo de las estructuras de la parte aérea del árbol, y de trascendencia en la formación del suelo (Persson, 1983), pero dado que las raíces son la “mitad oculta” de la mayoría de ecosistemas terrestres, surge la habilidad para diseñar protocolos de muestreo y esta se ve limitada por la incapacidad de observar la dinámica del sistema radicular completo de la planta, en este sentido se tiene una desventaja en el estudio de raíces, ya que la mayoría de las técnicas que estiman la biomasa radicular requieren una gran cantidad e intensidad de trabajo, y es necesario obtener una técnica por consenso debido a los pocos estudios (Vogt *et al.*, 1998), en tal sentido se aplicó un protocolo de muestreo, en donde se observó el patrón de distribución de la raíces, mediante la técnica de remoción y extracción de estos. A partir de ello se observó el siguiente comportamiento.

Se determinó que la mayor cantidad de biomasa radicular se encuentra en las secciones diamétricas de 0,5-2cm con un 34% de la biomasa total (Fig. 25). A comparación de las secciones diamétricas de 2-5cm, con 26%, 5-10cm con 12% y >10cm con 28%.

La presencia de mayor biomasa en la primera sección diamétrica es debido a que esta se concentra en los primeros 40cm de profundidad (Fig. 7 y 24), de acuerdo con los estudios de Fujita y Yanagisawa (1999) y Raich (1983) explican que el comportamiento de raíces finas, con respecto a la profundidad se caracteriza principalmente por la alta concentración de biomasa en los primeros centímetros del suelo, disminuyendo gradualmente conforme aumenta la profundidad. Esta tendencia puede ser explicada por los cambios de la compactación del suelo, el contenido de arcilla y la porosidad que afectan directamente la capacidad de absorción de humedad a lo largo del perfil del suelo, además Flores (1999) y

Jensen (1994) explican que la presencia de tejidos primarios de muy baja resistencia mecánica como es el caso de las raíces finas, no pueden crecer adecuadamente bajo condiciones de compactación y altas presiones en el suelo, además por la alta compactación, existe una menor disponibilidad de aire, lo que dificulta enormemente el intercambio gaseoso de las raíces con el sustrato.

Otro de los factores que permiten que exista el comportamiento de las raíces en los primeros 40 o 50 cm de profundidad, de debe a que esta está influenciada por el sitio, la textura del suelo, y la edad de la planta (López *et al.*, 1998), Así como también las características genéticas de la especie son influyentes en la forma y distribución de los sistemas radicales, ya que pueden determinar que una especie presente raíces axomorfas o fasciculada, o bien, algunas especies presenten raíces profundas y otras superficiales (Pritchett, 1986).

La especie *Prosopis pallida* “algarrobo” presenta un comportamiento de raíz axomórfico (Fig. 7), además se puede apreciar que la longitud en raíces laterales está en 7 a 13m, en arboles con 20 a 30cm de DAP, Dalmaso *et al.* (1994), asegura que la longitud de las raíces supera hasta tres veces el tamaño del árbol. El suelo por su parte se encuentra formado por material de relleno en los primeros 30cm (piedras y ladrillos mezclados con arena), y luego a partir de los 40cm, contiene, arena fina limosa suelta, arena fina limosa medianamente densa, arena fina limosa densa, arcillas arenosa compacta, arcilla con arena fina compacta (Ingeniería del Norte, 2008).



En la elaboración de la ecuación alométrica, se tomaron como variables independientes el diámetro a la altura del pecho (DAP) (Gower *et al.*, 1999, Navar, 2009) y la altura (H), de las cuales, solo la variable DAP, fue la usada por ser la más predictora (Gómez *et al.*, 2011) y la que presentó un coeficiente de correlación mayor de 80%, y la variable (H) fue descartada por presentar una correlación muy por debajo del 80%, además, para una mayor predicción de la ecuación se escogió aquella que tuvo el menor valor del cuadrado medio del error (CME), tal como se resume en los cuadros (13 y 17). Llanos (2010), afirma que a partir de estos estadísticos analizados, la ecuación encontrada puede ser empleada con seguridad, ya que reflejan los resultados con bastante consistencia.

La comparación entre la biomasa total radicular y la biomasa radicular estimada (cuadro 19, fig. 23), muestra que los resultados son bastante estrechos, los cuales reflejan la correcta selección de la ecuación de biomasa radicular total, el cual tuvo como parámetro definitorio el menor CME, de esta manera la ecuación queda expresada de la siguiente forma, con la variable DAP al cuadrado,  $BRT = -874,247 + 23,627 * DAP^2$ , arrojando que la biomasa total radicular estimada en el bosque de la Universidad de Piura, fue de 126,8t/ha.

MacDicken (1997), sugiere que también se pueden hacer estimaciones de biomasa radicular, y propone un porcentaje del 15%, en bosques de Chile, el cual considera una estimación conservadora, así como también Rodríguez *et al.* (2009), en México estima un 15% de biomasa en bosques de Pino-encino, Cairns *et al.* (1997), para la raíz/talla (R/T), para distintos lugares del mundo entrega valores entre el 20 y 30% de biomasa radicular con respecto a biomasa aérea, Grier *et al.* (1981), asegura que se puede hallar hasta un 30% de la biomasa aérea, estudio realizado por Laban (2012), sobre captura de carbono en el bosque

natural de algarrobo en campus de la Universidad de Piura encontró 16593132 g de biomasa total aérea, y aplicando la relación con los 3806194, 08g de biomasa radicular encontradas en esta investigación, nos arroja un 22,9% con respecto a la biomasa aérea, de esta manera se puede optar por aplicar de manera indirecta este valor. Cabe indicar que los árboles que fueron tomados y derribados por Laban (2012), fueron aquellos en donde se extrajeron las raíces.

Estudios en secuestro de carbono en depósitos subterráneos (raíces) son muy escasos, exigen mucho esfuerzo de tiempo y recursos en campo (Cairns *et al.*, 1997, Clark *et al.*, 2001). Es por ello que muchos trabajos emplean solo para parte aérea (Clark *et al.*, 2001). O emplean modelos estadísticos, UACH (2001).

(FAO, 2010) Manifiesta que la variabilidad de secuestro de carbono se atribuye, entre ellos a la región ecológica y/o climática en donde se ubican los bosques, ya que en bosques tropicales primarios varía entre 60 a 230 tC/ha y en bosques tropicales secundarios entre 25 y 190 tC/ha. Lapeyre (2003), realizó un trabajo en reservas de carbono en San Martín, bajo sistemas de bosques primarios y secundarios, y determinó que el bosque primario supera ampliamente al total capturado por el bosque secundario, siendo 492 Tc/ha y 235tC/ha, respectivamente.

Tal es así que en departamento de Junín, en plantaciones (UACH, 2001) determino una fijación de carbono en 26,61 toneladas de carbono. Alegre *et al.*, (2002) estimo el secuestro de carbono en sistemas alternativos, en suelos ácidos de los trópicos húmedos del Perú y orgánicos de la sierra, fluctuaciones del carbono entre 80tC/ha y 230tC/ha.

Los resultados obtenidos, para el secuestro de carbono(cuadro 22) en el bosque natural de algarrobo en campus de la UDEP, arrojó un 63,33 tC/ha, comparando con lo encontrado por Laban(2012), en captura de carbono aéreo, este fue de 276,50 tC/ha, el cual representa un 22,9% con respecto a la captura de carbono aérea, a partir de ello existe una relación directa de biomasa y el secuestro de carbono(Clark *et al.*, 2001). De esta manera, se puede aplicar para futuras investigación una relación directa entre los porcentajes de biomasa y carbono.

## V. CONCLUSIONES

La biomasa radicular hallada en las 50 ha del bosque natural de algarrobo de la UDEP, fue de 126,8t/ha.

La distribución de la biomasa radicular en *Prosopis pallida* “algarrobo” estuvo representada de la siguiente manera: la sección diamétrica 0,5-2cm con un 34%, de 2-5cm con 26%, de 5-10 cm con 12% y >10 cm con 28%, siendo la raíces más delgadas es decir de 0,5-2cm la que presenta mayor cantidad de biomasa.

Las ecuaciones que estimaron mejor la biomasa radicular fueron:

$$\text{Biomasa de 0,5-2} = -83,1247 + 8,39121 \cdot \text{DAP}^2$$

$$\text{Biomasa de 2-5} = 61,0354 + 6,09036 \cdot \text{DAP}^2$$

$$\text{Biomasa de 5-10} = -150,181 + 3,30783 \cdot \text{DAP}^2$$

$$\text{Biomasa de } >10 \text{ B} = (-4,70054 + 0,0681477 \cdot \text{DAP}^2)^2$$

$$\text{Biomasa Radicular Total} = -874,247 + 23,627 \cdot \text{DAP}^2$$

En las 50 ha del bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura, el secuestro de carbono fue de 63,33 tC/ha.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar otros estudios sobre biomasa radicular, en diferentes ecosistemas, por ejemplo en bosques secos de montaña, de colina, de llanura así como en algarrobales ribereños, para poder tener un compendio de la biomasa total que hay en el departamento.

Las ecuaciones encontradas deben ser tomadas, como referencia para bosques que tengan las características similares de esta investigación, en caso contrario se efectuaran nuevas ecuaciones.

Se debe realizar estudios en raíces menores de 0.5cm de diámetro, ya que estas también intervienen en la biomasa, como en el secuestro de carbono.

Para la extracción de raíces, es necesario contar con un grupo equipado y herramientas necesarias para realizar estos trabajos así como un grupo capaz de trabajar bajo un gran esfuerzo físico.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alegre, J., Arévalo, M., Risce, S A., Callo- Concha, D. y Palm, C. 2002. Secuestramiento de carbono con sistemas alternativos en el Perú. Congreso Brasileiro de Sistemas Agroforestales. Ilheus, Bahia.
- Adler, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Predicción del rendimiento. Roma, IT, FAO. (Forestry Paper 22/2).
- Barrena, V., Dance, J., Sáenz, S. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Revista Forestal del Perú 13(2): 3- 12.
- Brack, Egg A. 1998. Ecología y Desarrollo en el Perú – Serie Cuadernos de Debate y Reflexión. N 2. CCTA. Lima- Perú
- Brown, S., A. J. Gillespie & A. E. Lugo. 1999. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.* 35(4): 881-902.
- Brown, S., Lugo, AE. 1996. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbón cycle. *Biotrópica*. 12-35.
- Cairns, M., S. Brown, H. Eileen., G. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecología*, vol. 111, p. 1-11.

Clark, J. S., E. C. Grimm, J., Lynch, and P. J. Mueller. 2001. Effects of climate change on the C4 grassland/woodland boundary in the Northern Central Plains. *Ecology* 82:620–636.

Cuencas Andinas, 2004 Boletín N°1 Estrategias para el manejo integral de la cuencas en la Región Andina.

Dalmaso, A., Masuelli R., Salgado, O. 1994 Relación Vástago-Raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del norte. *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa* y *Bulnesia retama*.

De Jong, B., H. J., R. Tipper, And G. Montoya- Gomez. 2000. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forest: evidence from southern Mexico. *Ecological Economics* 33: 313-327.

FAO. 2001. Situación de los bosques del mundo. (Enlínea). Consultado el 30 de julio de 2008.

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/y0900s/y0900s00.htm>.

FAO. 2010. Inventario Forestal Nacional Nicaragua. Rome, Italy. Forestry Department. 139 pag.

Flores, E. 1999. La planta, estructura y función. Cartago, C.R. LUR.

- Fujita, N., Yanagisawa, N. 1999. Different distribution patterns of woody species on a slope in relation to vertical root distribution and dynamics of soil moisture profiles. *Ecological Research*.14: 165-177.
- Gobierno Regional de Piura, 2010. Memoria Descriptiva del Mapa de ocupación del Territorio y Uso Actual del Suelo. Zonificación Ecológica Económica de la Región Piura.
- Gómez, J., Etchevers, J., Monterrosos, A., Campo, J. & Tinoco, J. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Rev. Chapingo* vol.17 no.2.
- Gower, S. T., Kucharik, C. J., Norman, J. M. 1999. Direct and indirect estimation of leaf area index, F(APAR), and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing Environment* 70: 29–51.
- Grier, C., K. A. Vogt, M., R. Keyes, and R. L. Edmonds. 1981. Biomass distribution and above- and below-ground production in young and mature *Abies amabilis* ecosystems of the Washington Cascades. *Canadian Journal of Forest Research* 11:155–302.
- Guerra, J. 2001. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Informe Técnico, Proyecto Fondef Valdivia.



Herrera, S. 2002. Estimación de carbono almacenado en el tipo forestal roble – raulí, Coigue (*Nothofagus obliqua*, para determinar los beneficios ambientales de someterlo a sumideros, Santiago de Chile.

Holdridge, L. R. 1967 *Life zone ecology*. Tropical Science Center. San periment Station, Fort Collins, CO. José, Costa Rica.

Ingeniería del Norte, 2008. Estudio de mecánica de suelos Piura. Universidad de Piura. UDEP.

Jensen, W. 1994. Botánica. 2<sup>a</sup>. ed. Distrito, Federal, MX. McGraw-Hill.

MacDicken, K. 1997. A guide to Monitoring carbon storage in forestry and agroforestry Projects. Arlington, VA; Winrock international Institute for Agricultural Development.

Ministerio de Agricultura, 2003. Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Manual.

Návar, J., T. J. Synnott, 2009. Soil erosion and land use in northeastern Mexico. *Terra* 18:247-253.

La Torre-Cuadros, M. & Linares, R. 2008. Mapas y clasificación de vegetación en ecosistemas estacionales: un análisis cuantitativo de los bosques secos de Piura.

Revista Peruana de Biología 15 (1): 31-42. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Laban, C. 2012. Captura de carbono en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura.

Tesis para Optar el título de Biólogo. Universidad Nacional de Piura.

Lapeyre, T. 2003. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de tierra en San Martín. Tesis para optar el título de Maestría en Gestión Ambiental con campo complementario en bosques y gestión de Recursos Forestales. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

Llanos, M. 2010. Determinación de biomasa aérea total de algarrobo *Prosopis pallida* (h&b. ex. Willd.) h. b. k. Var. *pallida* Ferreira en los bosques secos de la comunidad campesina José Ignacio Pasapera del departamento de Piura.

López, B., Sabaté, S. y Gracia, C. 1998. Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. *Tree Physiology* 18: 601-606.

Persson, H. D. 1983. The distribution and productivity of fine roots in boreal forest. *Plant and Soil* 71: 87-101.

Philip, M. 1994. *Measuring Trees and Forests*. 2nd edition. Oxon, U.K., CAB International Wallingford.

Pritchett, W. 1986. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Trad.por José Hurtado Vega. LIMUSA. México, D. F.

Raich, J. 1983. Fine roots regrow rapidly after forest felling. *Biotrópica*.15: 177-184.

Rodríguez L., Jiménez P., Aguirre C. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de Pino- Encino en la reserva de la biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Ra. Ximhai* Vol 5. Número 3, setiembre- diciembre pp 317-327.

Vidal, A., Benítez, J., Rodríguez, J., Carlos, R., Gra, H. 2003. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* la E.F.I. La Palma de la provincia de Pinar del Rio, Cuba. *Quebracho* 11: 60-66

Salimon, C.I y I.F. Brown. 2000. Secondary forests in wester Amazonia: significant sinks for carbon released from deforestation. *Interciencia* 25: 198-202.

Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipoforestal siempreverde. Universidad Austral de Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono.

Schlegel B, Gayoso J, Guerra J. Métodos de medición de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial [En línea].2000.Chile.[accesado el 22 de agosto del 2010].

Disponible en URL <http://www.capturacarbono.co.cl/textos/manincarc.pdf>

Universidad Austral de Chile. 2001. Resúmenes del Simposio Internacional, Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile.

Trumper, K., Ravilious, C. & Dickson B. 2008. Carbon in Drylands: Desertification, Climate Change and Carbon Finance.

## VIII. ANEXOS

Cuadro 25. Clases diamétricas (DAP) y altura (H) de individuos de *P. pallida* en las parcelas de evaluación en el campus de la UDEP.

DAP (cm)	NÚMERO DE INDIVIDUOS						TOTAL
	P-01 (0≤H≤8m)	P-02 (0≤H≤15m)	P-03 (0≤H≤9m)	P-04 (0≤H≤10m)	P-05 (0≤H≤8 m)	P-06 (0≤H≤33m)	
0-5	11	16	06	05	10	0	48
5-10	26	20	15	11	16	0	88
10-15	08	20	13	15	10	01	67
15-20	09	08	07	12	05	02	43
20-25	08	07	07	09	04	03	38
25-30	02	04	06	06	04	02	24
30-35	03	02	06	0	01	03	15
35-40	0	03	01	0	02	03	09
40-45	0	03	01	0	01	06	11
45-50	0	03	0	0	0	03	06
50-55	0	0	0	0	0	01	01
55-60	0	01	01	0	0	04	06
60-65	0	0	0	0	0	02	02
65-70	0	0	0	0	0	0	0
70-75	0	0	0	0	0	01	01
<b>TOTAL</b>	67	87	63	58	53	31	<b>359</b>

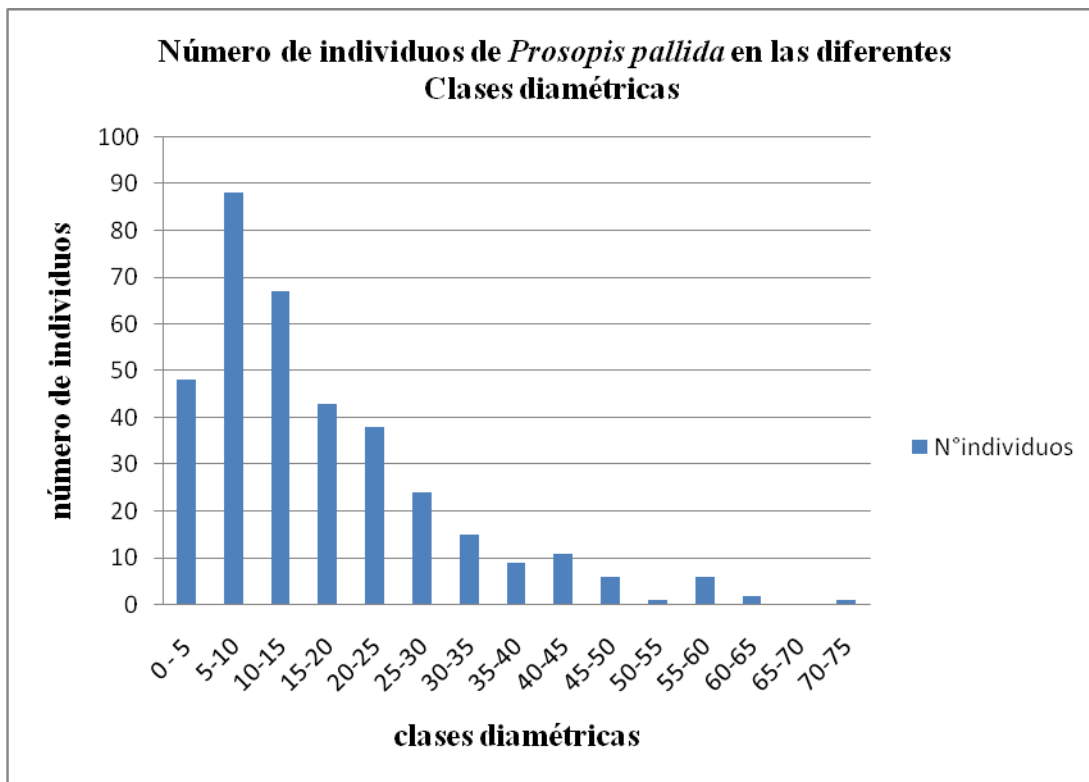


Fig. 27. Número de individuos de *Prosopis pallida* en las diferentes clases diamétricas

Cuadro 26. Datos dasométricos de los individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 01 en Campus de la UDEP.

Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)
<b>1</b>	16,55	2,11	<b>23</b>	9,55	5,14	<b>45</b>	24,83	5,54
<b>2</b>	7,32	2,55	<b>24</b>	9,55	4,75	<b>46</b>	16,55	4,94
<b>3</b>	19,58	3,63	<b>25</b>	5,09	4,37	<b>47</b>	9,23	5,14
<b>4</b>	4,77	3,81	<b>26</b>	4,77	4,37	<b>48</b>	10,03	5,14
<b>5</b>	16,55	4,37	<b>27</b>	5,09	4,37	<b>49</b>	35,33	5,54
<b>6</b>	21,65	3,26	<b>28</b>	4,46	3,44	<b>50</b>	5,57	3,26
<b>7</b>	15,92	4,37	<b>29</b>	5,41	3,99	<b>51</b>	13,05	4,37
<b>8</b>	23,24	4,18	<b>30</b>	6,37	4,37	<b>52</b>	8,28	4,37
<b>9</b>	4,46	3,99	<b>31</b>	4,30	3,08	<b>53</b>	9,71	3,26
<b>10</b>	35,01	5,54	<b>32</b>	5,09	4,18	<b>54</b>	3,02	2,20
<b>11</b>	17,35	4,56	<b>33</b>	13,53	6,16	<b>55</b>	4,30	4,18
<b>12</b>	7,96	3,44	<b>34</b>	16,23	5,95	<b>56</b>	21,49	6,38
<b>13</b>	3,50	3,81	<b>35</b>	6,37	5,95	<b>57</b>	10,03	3,63
<b>14</b>	26,99	5,95	<b>36</b>	17,51	6,60	<b>58</b>	38,52	5,95
<b>15</b>	7,96	5,95	<b>37</b>	9,07	6,38	<b>59</b>	6,68	3,44
<b>16</b>	8,75	4,56	<b>38</b>	20,21	6,38	<b>60</b>	4,14	2,20
<b>17</b>	6,05	4,56	<b>39</b>	21,17	6,82	<b>61</b>	26,90	5,74
<b>18</b>	3,50	3,44	<b>40</b>	20,37	4,56	<b>62</b>	14,80	3,81
<b>19</b>	3,98	3,26	<b>41</b>	6,84	4,56	<b>63</b>	8,91	4,18
<b>20</b>	14,01	5,34	<b>42</b>	7,16	4,56	<b>64</b>	6,68	3,99
<b>21</b>	11,59	7,04	<b>43</b>	6,84	3,99	<b>65</b>	7,96	4,18
<b>22</b>	19,89	5,34	<b>44</b>	24,99	5,14	<b>66</b>	6,37	4,37
<b>23</b>	9,55	5,14	<b>45</b>	24,83	5,54	<b>67</b>	12,10	5,54
<b>24</b>	9,55	4,75	<b>46</b>	16,55	4,94			

Cuadro 27. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 02 del Campus de la UDEP.

Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)
1	43,131	5,34	25	9,708451529	5,95	49	3,11943685	3,63	73	33,9636486	12,12
2	12,5732405	6,16	26	12,44591655	7,51	50	3,66056691	4,45	74	43,5447943	9,20
3	15,91549431	8,25	27	13,62366313	7,75	51	6,11154815	5,50	75	21,7087344	6,40
4	3,756056657	6,60	28	12,95521237	6,38	52	8,75352187	4,24	76	26,3516058	5,50
5	5,220282133	6,60	29	2,482817112	2,37	53	11,0771804	5,50	77	3,11943685	8,64
6	22,15436808	9,89	30	12,82788841	6,38	54	20,8492755	7,35	78	32,6267633	10,73
7	6,90732453	7,27	31	5,888732894	6,60	55	16,5521108	9,79	79	17,9845057	6,87
8	9,390141642	7,27	32	14,57859279	5,74	56	36,2554604	7,10	80	21,4222534	5,50
9	6,207042781	6,16	33	2,037183272	3,26	57	4,6154335	13,30	81	16,8704397	6,17
10	5,379437077	5,95	34	2,610141067	3,44	58	47,6828095	11,06	82	46,7915527	14,61
11	5,06112719	7,51	35	8,626197916	6,82	59	24,0642274	9,49	83	40,9346536	5,07
12	7,957747155	5,14	36	14,00563499	6,16	60	10,5042624	9,79	84	19,4805603	4,24
13	13,84648005	7,04	37	4,074366543	4,56	61	13,4963917	10,73	85	15,4380948	4,45
14	2,864788976	6,60	38	7,543944303	5,34	62	29,2527854	7,10	86	24,3507629	4,45
15	1,909859317	3,26	39	47,61915897	9,60	63	11,8412777	4,45	87	2,37	1,81
16	15,21521256	5,95	40	9,867606472	9,89	64	8,91267813	8,11			
17	13,59183214	6,38	41	35,8098622	5,95	65	37,0810174	8,92			
18	4,297183463	4,37	42	7,798592212	4,75	66	8,59466927	5,50			
19	13,59183214	3,99	43	9,931268449	4,18	67	12,1276066	5,50			
20	3,246760839	1,63	44	11,4591559	5,34	68	26,2605661	5,72			
21	1,909859317	1,45	45	58,25070917	4,18	69	29,2845053	6,87			
22	10,88619811	5,34	46	2,76929601	3,81	70	9,00816779	4,86			
23	13,4326772	4,75	47	6,525352667	4,56	71	10,6633119	8,64			
24	14,45126883	5,54	48	16,87042397	6,82	72	22,6318291	6,40			



Cuadro28. Datos biométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 03 en Campus de la UDEP.

Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)
<b>1</b>	4,933803236	5,75	<b>24</b>	13,1461983	3,00	<b>47</b>	32,78591828	3,79
<b>2</b>	2,546479089	4,73	<b>25</b>	17,82535363	5,40	<b>48</b>	11,71380381	4,10
<b>3</b>	5,092958179	5,75	<b>26</b>	13,4326772	4,10	<b>49</b>	28,07493196	5,06
<b>4</b>	25,87859375	7,53	<b>27</b>	31,13070687	3,95	<b>50</b>	14,00563499	5,06
<b>5</b>	3,756056657	1,70	<b>28</b>	20,59464964	3,79	<b>51</b>	9,708451529	3,00
<b>6</b>	6,366197724	3,64	<b>29</b>	4,774648293	3,64	<b>52</b>	25,52845287	3,10
<b>7</b>	40,93465136	9,23	<b>30</b>	11,14084602	3,00	<b>53</b>	56,11803293	5,93
<b>8</b>	6,970986507	3,95	<b>31</b>	31,19436885	5,23	<b>54</b>	11,33183195	2,90
<b>9</b>	2,801126998	2,30	<b>32</b>	32,46760839	6,70	<b>55</b>	10,79070514	3,40
<b>10</b>	29,79380535	5,93	<b>33</b>	22,24986104	4,90	<b>56</b>	12,25493062	4,73
<b>11</b>	7,321127382	3,79	<b>34</b>	6,207042781	3,49	<b>57</b>	5,888732894	4,10
<b>12</b>	13,87831104	4,25	<b>35</b>	23,23662169	4,73	<b>58</b>	13,11436731	3,95
<b>13</b>	9,867606472	2,91	<b>36</b>	23,93690344	5,40	<b>59</b>	5,793239929	2,91
<b>14</b>	14,51493081	4,25	<b>37</b>	7,703099246	4,25	<b>60</b>	16,26563518	5,23
<b>15</b>	9,867606472	5,58	<b>38</b>	19,32141009	7,75	<b>61</b>	5,092958179	3,20
<b>16</b>	30,81239698	5,75	<b>39</b>	5,283944111	4,10	<b>62</b>	5,570423008	3,10
<b>17</b>	13,94197301	5,23	<b>40</b>	11,42732491	5,23	<b>63</b>	15,59718442	6,12
<b>18</b>	30,14394622	6,90	<b>41</b>	3,183098862	5,23			
<b>19</b>	15,91549431	3,79	<b>42</b>	26,41972055	6,50			
<b>20</b>	20,53098766	3,64	<b>43</b>	20,56281865	4,41			
<b>21</b>	7,894085177	5,23	<b>44</b>	15,31070553	5,23			
<b>22</b>	15,59718442	5,06	<b>45</b>	39,56591885	4,90			
<b>23</b>	20,30817074	6,31	<b>46</b>	28,45690382	5,40			

Cuadro 29. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 04 en Campus de la UDEP.

Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)
<b>1</b>	35,68253824	8,21	<b>25</b>	11,4591559	8,96	<b>49</b>	22,15436808	8,21
<b>2</b>	18,93943823	7,75	<b>26</b>	5,347606088	4,73	<b>50</b>	18,71662131	8,45
<b>3</b>	6,047887837	7,31	<b>27</b>	22,50450895	3,95	<b>51</b>	14,76957872	7,53
<b>4</b>	27,883946	5,75	<b>28</b>	9,135493733	5,23	<b>52</b>	24,35070629	8,45
<b>5</b>	22,6636639	5,06	<b>29</b>	15,02422663	5,23	<b>53</b>	26,26056561	8,70
<b>6</b>	16,774931	4,90	<b>30</b>	15,34253651	4,73	<b>54</b>	18,4619734	6,90
<b>7</b>	24,98732607	6,31	<b>31</b>	31,0352139	4,10	<b>55</b>	17,50704374	9,23
<b>8</b>	28,67972075	6,31	<b>32</b>	26,19690363	6,70	<b>56</b>	19,70338195	5,93
<b>9</b>	16,39295914	6,12	<b>33</b>	18,30281846	8,45	<b>57</b>	25,87859375	9,50
<b>10</b>	15,53352245	6,12	<b>34</b>	31,00338291	4,90	<b>58</b>	26,89718538	7,53
<b>11</b>	22,15436808	5,93	<b>35</b>	16,55211408	7,31			
<b>12</b>	13,84648005	7,53	<b>36</b>	24,6053542	6,70			
<b>13</b>	29,95296029	6,31	<b>37</b>	7,925916166	2,91			
<b>14</b>	14,13295895	7,98	<b>38</b>	25,87859375	5,23			
<b>15</b>	12,63690248	4,41	<b>39</b>	22,34535401	4,41			
<b>16</b>	30,87605896	8,21	<b>40</b>	23,10929774	4,73			
<b>17</b>	14,96056465	4,25	<b>41</b>	38,16535535	5,40			
<b>18</b>	26,06957968	7,10	<b>42</b>	14,48309982	6,31			
<b>19</b>	24,95549508	6,12	<b>43</b>	12,41408556	5,40			
<b>20</b>	19,67155097	8,45	<b>44</b>	22,12253709	10,08			
<b>21</b>	20,11718481	4,25	<b>45</b>	16,13831123	5,40			
<b>22</b>	10,6315502	7,75	<b>46</b>	16,55211408	6,90			
<b>23</b>	14,51493081	8,70	<b>47</b>	9,708451529	6,50			
<b>24</b>	36,82845383	7,31	<b>48</b>	11,4591559	7,31			

Cuadro 30. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 05 en Campus de la UDEP.

Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)	Nº	DAP(cm)	HT(m)
<b>1</b>	10,82253613	3,20	<b>23</b>	5,092958179	3,95	<b>45</b>	18,78028328	7,30
<b>2</b>	38,19718634	7,31	<b>24</b>	7,957747155	3,95	<b>46</b>	11,77746579	7,15
<b>3</b>	8,116902098	2,91	<b>25</b>	4,774648293	2,20	<b>47</b>	15,40619849	6,27
<b>4</b>	18,4619734	5,23	<b>26</b>	7,002817496	4,73	<b>48</b>	12,41408556	4,70
<b>5</b>	12,09577567	3,64	<b>27</b>	27,53380515	4,90	<b>49</b>	7,639437268	3,80
<b>6</b>	14,64225476	5,93	<b>28</b>	11,4591559	4,41	<b>50</b>	7,002817496	2,80
<b>7</b>	16,87042397	5,93	<b>29</b>	14,48309982	4,73	<b>51</b>	1,909859317	2,83
<b>8</b>	7,002817496	2,00	<b>30</b>	22,91831181	5,75	<b>52</b>	9,549296586	3,60
<b>9</b>	21,8042272	6,70	<b>31</b>	5,729577951	3,35	<b>53</b>	9,867606472	3,10
<b>10</b>	14,00563499	4,41	<b>32</b>	25,14648101	6,12			
<b>11</b>	4,456338407	3,79	<b>33</b>	30,55774907	8,21			
<b>12</b>	5,092958179	4,41	<b>34</b>	21,35859336	4,10			
<b>13</b>	29,76197436	4,73	<b>35</b>	35,2369044	5,40			
<b>14</b>	2,864788976	4,10	<b>36</b>	16,26563518	4,41			
<b>15</b>	11,618085	4,25	<b>37</b>	26,26056561	4,90			
<b>16</b>	41,06197532	4,90	<b>38</b>	3,183098862	4,30			
<b>17</b>	2,228169203	1,74	<b>39</b>	7,957747155	1,82			
<b>18</b>	7,002817496	2,34	<b>40</b>	4,265352475	4,23			
<b>19</b>	5,411268065	3,79	<b>41</b>	4,201690498	2,25			
<b>20</b>	7,002817496	3,64	<b>42</b>	11,84112777	3,80			
<b>21</b>	8,276057041	3,79	<b>43</b>	1,591549431	3,47			
<b>22</b>	23,23662169	3,79	<b>44</b>	2,037183272	2,24			

Cuadro 31. Datos dasométricos de individuos de *Prosopis pallida* en la parcela 06 en Campus de la UDEP.

<b>Nº</b>	<b>DAP(cm)</b>	<b>HT(m)</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP(cm)</b>	<b>HT(m)</b>
<b>1</b>	55,3859202	11,86	<b>23</b>	19,79887492	14,30
<b>2</b>	36,9239468	20,31	<b>24</b>	41,34845422	15,26
<b>3</b>	33,10422816	20,31	<b>25</b>	24,38253728	18,82
<b>4</b>	35,01408748	22,95	<b>26</b>	46,21859547	16,50
<b>5</b>	43,60845441	4,56	<b>27</b>	47,10986316	33,67
<b>6</b>	60,63803332	13,42	<b>28</b>	18,65295933	16,50
<b>7</b>	34,05915782	15,26	<b>29</b>	40,10704566	16,50
<b>8</b>	44,88169395	12,22	<b>30</b>	53,79437077	21,41
<b>9</b>	24,19155135	15,78	<b>31</b>	43,3538065	23,74
<b>10</b>	55,3859202	19,50			
<b>11</b>	20,75380458	15,78			
<b>12</b>	25,46479089	19,54			
<b>13</b>	74,80282325	16,33			
<b>14</b>	55,41775118	15,78			
<b>15</b>	32,81774927	10,50			
<b>16</b>	59,52394872	16,90			
<b>17</b>	27,21549527	9,89			
<b>18</b>	63,98028712	13,42			
<b>19</b>	12,25493062	8,77			
<b>20</b>	47,65098996	13,42			
<b>21</b>	38,19718634	16,90			
<b>22</b>	44,37239813	19,38			

Cuadro 32. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de 0.5 a 2cm de los 25 árboles seleccionados.

N° de Parcela	Árboles seleccionados	Peso húmedo total de 0.5-2cm en (gr)			Promedio del peso húmedo total
		R1	R2	R3	
1	17	4,15	2,28	4,49	3,64
	12	13,4	11,9	11,42	12,24
	19	10,13	15,2	10,06	11,80
	56	3,26	4,38	0	3,82
2	77	15,13	8,72	0	11,93
	35	6,89	0	0	6,89
	66	6,63	7,2	0	6,92
	86	16	17,9	15,4	16,43
	30	8,8	5,9	4,24	6,31
3	40	7,86	0	0	7,86
	9	10	0	0	10,00
	34	10,4	0	0	10,40
	58	8,98	0	0	8,98
	32	9,65	11,61	12,78	11,35
	28	7,13	12,76	0	9,95
	29	13,16	0	0	13,16
	22	13,06	13,2	0	13,13
	21	10,12	0	0	10,12
4	9	9,79	11,38	19	13,39
	16	13,11	9,4	10,6	11,04
	20	19,14	10,05	9,43	12,87
	52	0	11,45	0	11,45
5	32	20,85	12,64	11,61	15,03
	18	0	11,42	0	11,42
	15	0	7,3	0	7,30

Cuadro 33. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de 2-5cm de los 25 árboles seleccionados.

N° de Parcela	Árboles seleccionados	Peso húmedo total de 2-5g			Promedio del peso húmedo total
		R1	R2	R3	
1	17	0	0	0	0.00
	12	96,58	0	0	96,58
	19	38,4	0	0	38,40
	56	0	0	0	0.00
2	77	41,88	0	0	41,88
	35	80,55	0	0	80,55
	66	42,05	18,55	43,59	34,73
	86	41,6	63,8	55,5	53,63
	30	24,7	16,7	0	20,70
3	40	80,5	0	0	80,50
	9	46,4	38,7	0	42,55
	34	57,5	42,36	0	49,93
	58	28,4	0	0	28,40
	32	13,07	30,12	0	21,60
	28	82,2	85,25	0	83,73
	29	25,32	0	0	25,32
	22	23,01	0	0	23,01
	21	25,5	0	0	25,50
4	9	30,32	32,33	0	31,33
	16	15,91	15,52	11,49	14,31
	20	61,92	117,13	39,59	72,88
	52	42,68	0	0	42,68
5	32	65,02	24,8	22,73	37,52
	18	96,58	0	0	96,58
	15	21,55	0	0	21,55

Cuadro 34. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de 5-10 cm de los 25 árboles seleccionados.

N° de Parcela	Árboles seleccionados	Peso húmedo total de 5-10g			Promedio del peso húmedo total
		R1	R2	R3	
1	17	84,3	0	0	84,30
	12	0	0	0	0
	19	0	0	0	0
	56	0	0	0	0
2	77	0	0	0	0
	35	85,98	0	0	85,98
	66	0	0	0	0
	86	361,1	0	0	361,1
	30	0	0	0	0
3	40	210,8	0	0	210,80
	9	0	0	0	0
	34	121,2	0	0	121,20
	58	172,59	0	0	172,59
	32	441	0	0	441,00
	28	0	0	0	0
	29	121,5	0	0	121,50
	22	118,57	0	0	118,57
	21	0	0	0	0
4	9	0	0	0	0
	16	161,61	0	0	161,61
	20	358,5	0	0	358,50
	52	165,23	0	0	165,23
5	32	120,73	0	0	120,73
	18	0	0	0	0
	15	135,59	0	0	135,59

Cuadro 35. Peso húmedo de las rodajas de las raíces de >10 cm de los 25 árboles seleccionados.

Nº de Parcela	Árboles seleccionados	Peso húmedo total de >10			Promedio del peso húmedo total
		R1	R2	R3	
1	17	0	0	0	0
	12	0	0	0	0
	19	0	0	0	0
	56	0	0	0	0
2	77	0	0	0	0
	35	0	0	0	0
	66	166,86	0	0	166,86
	86	205,8	0	0	205,80
	30	0	0	0	0
3	40	227,5	0	0	227,50
	9	0	0	0	0
	34	0	0	0	0
	58	0	0	0	0
	32	352,8	0	0	352,80
	28	0	0	0	0
	29	0	0	0	0
	22	0	0	0	0
	21	0	0	0	0
4	9	0	0	0	0
	16	360	0	0	360,00
	20	266,2	0	0	266,20
	52	322,5	0	0	322,50
5	32	0	0	0	0
	18	0	0	0	0
	15	0	0	0	0



Cuadro 36. Peso seco de las rodajas de las raíces de 0.5-02 cm de los 25 árboles seleccionados.

Nº de Parcela	Árboles seleccionados	Peso seco total de rodajas del 0.5-2(g)			Promedio del peso seco total
		R1	R2	R3	
1	17	2,99	1,57	3,31	2,62
	12	12,05	8,52	8,34	9,64
	19	7,39	11,74	7,33	8,82
	56	2,36	2,88	0	2,62
2	77	10,44	6,86	0	8,65
	35	5,75	0	0	5,75
	66	5,7	6,16	0	5,93
	86	11	12,1	10	11,03
	30	5,5	4,12	3,75	4,46
3	40	5,81	0	0	5,81
	9	8,81	0	0	8,81
	34	8,48	0	0	8,48
	58	7,29	0	0	7,29
	32	7,88	8,56	8,55	8,33
	28	0	5,72	8,55	7,14
	29	0	10,57	0	10,57
	22	0	10,67	11,08	10,88
	21	0	8,36	0	8,36
4	9	7,77	8,53	15,13	10,48
	16	11	8,52	8,99	9,50
	20	14,68	7,69	7,15	9,84
	52	0	9,105	0	9,11
5	32	15,75	9,11	8,56	11,14
	18	0	8,34	0	8,34
	15	0	6,16	0	6,16

Cuadro 37. Peso seco de las rodajas de las raíces de 2-5 cm de los 25 árboles seleccionados.

N° de Parcela	Árboles seleccionados	Peso seco total de rodajas del 2-5(g)			Promedio del peso seco total
		R1	R2	R3	
1	17	0	0	0	0.00
	12	62,65	0	0	62,65
	19	28,79	0	0	28,79
	56	0	0	0	0.00
2	77	32,32	0	0	32,32
	35	54,13	0	0	54,13
	66	39,98	13,82	30,61	28,14
	86	27,4	47,7	39,9	38,33
	30	23,4	15	0	19,20
3	40	53,6	0	0	53,60
	9	39,56	32,79	0	36,18
	34	42,36	0	0	42,36
	58	20,5	0	0	20,50
	32	10,3	23,59	0	16,95
	28	57	61	0	59,00
	29	17,15	0	0	17,15
	22	16,38	0	0	16,38
	21	18,5	0	0	18,50
4	9	23,59	25,02	0	24,31
	16	13,77	13,68	10,17	12,54
	20	45,64	90,01	28,5	54,72
	52	30,56	0	0	30,56
5	32	46,83	19,79	17,86	28,16
	18	62,65	0	0	62,65
	15	14,82	0	0	14,82

Cuadro 38. Peso seco de las rodajas de las raíces de 5-10 cm de los 25 árboles seleccionados.

Nº de Parcela	Árboles seleccionados	Peso seco total de rodajas del 5-10(g)			Promedio del peso seco total
		R1	R2	R3	
1	17	52,4	0	0	52,40
	12	0	0	0	0
	19	0	0	0	0
	56	0	0	0	0
2	77	0	0	0	0
	35	59,14	0	0	59,14
	66	0	0	0	0
	86	304,56	0	0	304,56
	30	0	0	0	0
3	40	189,2	0	0	189,20
	9	0	0	0	0
	34	84,43	0	0	84,43
	58	149,55	0	0	149,55
	32	340,37	0	0	340,37
	28	0	0	0	0
	29	95,3	0	0	95,30
	22	94,96	0	0	94,96
	21	0	0	0	0
4	9	0	0	0	0
	16	121	0	0	121,00
	20	223,6	0	0	223,60
	52	134,54	0	0	134,54
5	32	90,2	0	0	90,20
	18	0	0	0	0
	15	98,55	0	0	98,55

Cuadro 39. Peso seco de las rodajas de las raíces de >10 cm de los 25 árboles seleccionados.

N° de Parcela	Árboles seleccionados	Peso seco total de rodajas de >10 (g)			Promedio del peso seco total
		R1	R2	R3	
1	17	0	0	0	0
	12	0	0	0	0
	19	0	0	0	0
	56	0	0	0	0
2	77	0	0	0	0
	35	0	0	0	0
	66	135,88	0	0	135,88
	86	177,53	0	0	177,53
	30	0	0	0	0
3	40	202,25	0	0	202,25
	9	0	0	0	0
	34	0	0	0	0
	58	0	0	0	0
	32	280,2	0	0	280,20
	28	0	0	0	0
	29	0	0	0	0
	22	0	0	0	0
	21	0	0	0	0
4	9	0	0	0	0
	16	285,7	0	0	285,70
	20	186,5	0	0	186,50
	52	265,3	0	0	265,30
5	32	0	0	0	0
	18	0	0	0	0
	15	0	0	0	0



Fig. 28. Árboles seleccionados para la tumba.



Fig. 29. Corte de árboles, para quedar solo en tocón radicular.





Fig. 30. Tocón de árbol seleccionado.



Fig. 31. Extracción de la raíz



Fig. 32. Excavación en la zona de trabajo mediante procesos manuales



Fig.33. Seguimiento de la raíz principal.





Fig. 34. Limpieza y separación de las raíces.



Fig. 35. Toma de datos de longitud de las raíces.





Fig. 36. Seguimiento de las raíces, superficiales y no superficiales.



Fig. 37. Seguimiento de las raíces de larga longitud.





Fig. 38. Exposición de las raíces por diámetros



Fig. 39. Pesado de las muestras en campo.



Fig. 40. Pesado en laboratorio de las rodajas según el diámetro.



Fig. 41. Colocación de las muestras (rodajas) en la estufa.